

Hugo Alexandre de  
Almeida Lourenço

Monitorização dos consumos de energia elétrica



**Hugo Alexandre de  
Almeida Lourenço**

## **Monitorização dos consumos de energia elétrica**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e de Nelson Amadeu Dias Martins , Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



Aos meus pais.



Presidente / President

**Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Prof. Doutor Pedro Nicolau Faria da Fonseca**

Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro (arguente)

**Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (orientador)

**Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (co-orientador)





## **Agradecimentos / Acknowledgements**

Gostaria de agradecer ao meu orientador José Paulo Oliveira e Santos e ao meu co-orientador Nelson Amadeu Dias Martins por toda a ajuda, disponibilidade, ensinamentos e muito mais, facultados ao longo desta orientação. Quero ainda agradecer a todos os professores do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, por me terem ajudado ao longo destes anos a chegar ao fim deste desafio.

Um obrigado aos meus colegas de curso que direta ou indiretamente contribuíram na realização desta dissertação.

Um agradecimento especial aos meus amigos Carlos Sousa, David Santos, António Almeida, Rui Pereira e Nuno Oliveira que durante estes anos muito me ajudaram e apoiaram, estando sempre presentes nos bons e nos maus momentos.

À minha namorada, Margarida Santos, por todo o apoio que me deu, por toda a paciência que teve nos momentos menos bons e pelo carinho demonstrado ao longo deste trabalho.

Ao meu irmão, Jóni Lourenço, pela amizade, apoio e ajuda incondicional durante a elaboração deste trabalho. Sem ele nada disto seria possível.

Por fim, mas de maior importância, o meu muito obrigado aos meus pais, Sebastião Lourenço e Elisabete Lourenço, por me possibilitarem esta oportunidade, por todo o apoio, amizade, amor e educação que me deram ao longo destes anos. A eles dedico esta dissertação.

A todos OBRIGADO!



**Palavras-chave**

Monitorização dos Consumos Energéticos; Eficiência Energética; Domótica; Monitorização não Intrusiva de Cargas

**Resumo**

Nos tempos em que vivemos e com a atual situação económica do país, a redução dos consumos energéticos é uma mais-valia para os consumidores bem como para o meio ambiente. As enormes evoluções tecnológicas nos últimos anos possibilitam a realização de soluções para resolver esse problema. A monitorização constante dos consumos de energia elétrica por parte dos consumidores, pode levar a que essa redução seja concretizada.

Nesta dissertação é proposta uma solução a esse problema, tendo como objetivo a monitorização constante dos consumos energéticos para cada equipamento elétrico, de forma a ser possível aos consumidores reduzir as suas facturas elétricas no final do mês.

É sabido que apenas uma monitorização desses consumos não vai alterar em nada os gastos de cada equipamento, no entanto o que se pretende é que o consumidor analisando os resultados desta monitorização saiba onde atuar para eliminar possíveis desperdícios energéticos. Para isso é necessária uma alteração de hábitos e costumes por parte dos utilizadores de forma a atingir esses objetivos.



**Keywords**

Monitoring of Energy Consumption; Energy Efficiency; Home Automation; Non-intrusive Load Monitoring

**Abstract**

Nowadays, with the environmental concerns and the Portugal economic situation, the reduction of energetic consumption is of major importance. The technological developments of the latest years provide solutions to this problem. The constant monitoring of energy consumption allows the consumers to reduce expenses.

In this dissertation is presented a potential solution to this problem, with the objective of constant monitoring energy consumptions of electric equipment creating the possibility of reducing the energy bills.

The monitoring of energy consumption alone is not enough to reduce the energy spending's, the purpose of this dissertation is to enable the consumer to change wrong behaviors by analyzing the monitoring energy consumption results. To achieve this goals it is necessary a change of consumers habits.



# Conteúdo

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Contextualização . . . . .   | 1         |
| 1.2      | Objetivos . . . . .  | 3         |
| 1.3      | Guia de Leitura . . . . .  | 3         |
| <b>2</b> | <b>Estado de Arte - Monitorização de Cargas</b>                          | <b>5</b>  |
| 2.1      | Monitorização Intrusiva de Cargas . . . . .                              | 5         |
| 2.1.1    | Sistemas Comercializados . . . . .                                       | 5         |
| 2.2      | Monitorização Não Intrusiva de Cargas . . . . .                          | 7         |
| 2.2.1    | Sistemas Comercializados . . . . .                                       | 7         |
| 2.3      | Monitorização ao Nível do Equipamento e do Quadro Elétrico . . . . .     | 9         |
| 2.3.1    | Sistemas Comercializados . . . . .                                       | 9         |
| 2.4      | Monitorização Não Intrusiva de Cargas - Uma visão mais detalhada . . . . | 11        |
| <b>3</b> | <b>A Solução Proposta</b>  | <b>17</b> |
| 3.1      | Descrição do Sistema . . . . .   | 17        |
| 3.2      | Configuração Experimental . . . . .                                      | 17        |
| 3.3      | Estrutura Geral . . . . .  | 18        |
| 3.4      | Hardware Utilizado e a sua Implementação . . . . .                       | 19        |
| 3.4.1    | Placa PICDEM2-PLUS e Microcontrolador (PIC18F4685) . . . . .             | 19        |
| 3.4.2    | Transdutores de Tensão e Corrente . . . . .                              | 20        |
| 3.4.3    | Amplificador Operacional . . . . .                                       | 23        |
| 3.4.4    | Optoacoplador . . . . .  | 26        |
| 3.4.5    | Outros Componentes . . . . .   | 29        |
| 3.5      | Software e Tecnologias adotadas . . . . .                                | 30        |
| 3.5.1    | MPLAB IDE v8.76 . . . . .  | 30        |
| 3.5.2    | Java (Web Service) . . . . .   | 30        |
| 3.5.3    | MySQL (Base de Dados Relacional) . . . . .                               | 31        |
| 3.5.4    | Interface Gráfica (HTML5) . . . . .                                      | 32        |
| 3.5.5    | JavaScript . . . . .   | 32        |
| 3.6      | Sistema Conceptual do ECM . . . . .                                      | 33        |
| 3.6.1    | Sistema Funcional . . . . .  | 33        |
| 3.6.2    | Sistema Arquitetural . . . . .   | 36        |
| 3.6.3    | Sistema de Dados . . . . .   | 38        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>Implementação do ECM</b>               | <b>41</b> |
| 4.1      | Calibração dos Dados Adquiridos . . . . . | 41        |
| 4.2      | Configurações Iniciais . . . . .          | 45        |
| 4.3      | Adicionar Equipamentos . . . . .          | 46        |
| 4.4      | Monitorização . . . . .                   | 51        |
| <b>5</b> | <b>Resultados Experimentais</b>           | <b>55</b> |
| 5.1      | Erros de Medição . . . . .                | 55        |
| 5.2      | Testes de Funcionamento do ECM . . . . .  | 57        |
| <b>6</b> | <b>Conclusão</b>                          | <b>65</b> |
| <b>7</b> | <b>Trabalhos Futuros</b>                  | <b>67</b> |
| <b>A</b> | <b>Circuitos</b>                          | <b>73</b> |
| <b>B</b> | <b>Fotografias</b>                        | <b>79</b> |



# Lista de Tabelas

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Características do transdutor de tensão LV25-P. . . . .    | 21 |
| 3.2 | Características do transdutor de corrente CSLA1CD. . . . . | 21 |
| 4.1 | Corrente de pico real vs Corrente de pico obtida. . . . .  | 43 |
| 5.1 | Erros de medição dos valores de tensão . . . . .           | 56 |
| 5.2 | Erros de medição dos valores de corrente . . . . .         | 57 |
| 5.3 | Erros de medição dos valores de Potência Ativa . . . . .   | 57 |
| 5.4 | Resultados dos testes de detecção individual . . . . .     | 60 |



# Lista de Figuras

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | Repartição do consumo de energia final por setor. [1]               | 2  |
| 1.2  | Distribuição do consumo de eletricidade por tipo de utilização. [1] | 3  |
| 2.1  | Kill A Watt Edge (P4490) [2]  | 6  |
| 2.2  | Power Meter [3]   | 7  |
| 2.3  | Esquema do funcionamento do <i>Energy</i> [4]                       | 8  |
| 2.4  | Wattson [5]   | 9  |
| 2.5  | Cloogy [6]  | 10 |
| 2.6  | OWL Micro+ (CM180) [7]  | 11 |
| 2.7  | Potência reativa vs potência ativa em alguns equipamentos           | 12 |
| 2.8  | Mudança de estados de um mesmo equipamento de segunda categoria     | 13 |
| 2.9  | Variação da potência ativa em função do tempo numa habitação        | 13 |
| 2.10 | Processo de extração de um novo evento                              | 15 |
| 3.1  | Configuração Experimental do ECM                                    | 18 |
| 3.2  | Estrutura geral do ECM  | 19 |
| 3.3  | Placa <i>PICDEM 2 Plus Demosntration Board</i>                      | 19 |
| 3.4  | O microcontrolador  | 20 |
| 3.5  | Princípio de funcionamento do Efeito de <i>Hall</i> [8]             | 21 |
| 3.6  | Transductor de tensão LV25-P da LEM [9]                             | 22 |
| 3.7  | Transductor de Corrente CSLA1CD da Honeywell                        | 23 |
| 3.8  | Circuito representativo do tratamento dos sinais de corrente        | 24 |
| 3.9  | Circuito representativo do tratamento dos sinais de tensão          | 26 |
| 3.10 | Circuito representativo da deteção da passagem pelo zero.           | 27 |
| 3.11 | Retificação de meia onda (amarelo) e $V_{out}$ do 4n25 (vermelho).  | 28 |
| 3.12 | Onda da linha elétrica (verde) e $V_{out}$ do 4n25 (vermelho).      | 28 |
| 3.13 | Outros componentes utilizados                                       | 30 |
| 3.14 | Esquema de funcionamento de uma chamada AJAX.                       | 33 |
| 3.15 | Diagrama de casos de uso do utilizador                              | 34 |
| 3.16 | Diagrama de casos de uso relativo às configurações iniciais         | 34 |
| 3.17 | Diagrama de casos relativo ao processo de adicionar equipamentos    | 35 |
| 3.18 | Diagrama de casos relativo ao processo de minitorização             | 36 |
| 3.19 | arquitetura do ECM  | 37 |
| 3.20 | Base do funcionamento da arquitetura do ECM                         | 38 |
| 4.1  | Relação entre a corrente e os resultados obtidos pela ADC           | 42 |
| 4.2  | Relação entre a tensão e os resultados obtidos pela ADC             | 43 |
| 4.3  | Linha de tendência relativa aos testes de corrente efetuados        | 44 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.4 | Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTN [10]. . . . .  | 46 |
| 4.5 | Esquema do cálculo da variação de potência ativa numa transição OFF/ON                                    | 47 |
| 4.6 | Esquema do cálculo errado da variação de potência ativa . . . . .   | 48 |
| 4.7 | Esquema do cálculo da variação de potência ativa numa transição ON/OFF                                    | 48 |
| 4.8 | Diagrama de fluxo referente ao processo de adicionar equipamentos . . . .                                 | 50 |
| 4.9 | Diagrama de fluxo referente ao processo de monitorização . . . . .  | 54 |
| 5.1 | Obtenção dos valores eficazes de tensão e corrente no ECM . . . . .                                       | 56 |
| 5.2 | Seleção da potência e tarifa contratadas . . . . .  | 58 |
| 5.3 | Teste de monitorização de um único equipamento . . . . .  | 58 |
| 5.4 | Processo de adição de equipamentos ao ECM . . . . .   | 59 |
| 5.5 | Teste de monitorização do micro-ondas . . . . .   | 60 |
| 5.6 | Teste de monitorização com dois equipamentos . . . . .  | 61 |
| 5.7 | Teste de monitorização com uma deteção incorreta . . . . .  | 61 |
| 5.8 | Deteção de Equipamentos elétricos . . . . .   | 62 |
| 5.9 | Cálculo de estimativas de consumos energéticos (€) seleccionando os equi-<br>pamentos desejados . . . . . | 63 |
| A.1 | Circuito representativo do protótipo em placa branca. . . . .   | 75 |
| A.2 | Ligações ao microcontrolador. . . . .   | 77 |
| B.1 | Fotografia da implementação dos transdutores. . . . .   | 81 |
| B.2 | Fotografia da implementação dos amplificadores operacionais e do optoa-<br>coplador. . . . .              | 83 |
| B.3 | Fotografia do protótipo desenvolvido. . . . .   | 85 |





# Capítulo 1

## Introdução

Este documento inicia-se com uma contextualização sobre um dos actuais problemas da sociedade, os elevados consumos energéticos. Seguidamente são apresentados os objetivos que se propuseram na realização desta dissertação bem como um pequeno resumo sobre o que se apresenta em cada capítulo.

### 1.1 Contextualização

Nos últimos tempos (1990-2002) a procura energética aumentou 61% e consequentemente a eficiência energética não cresceu como o esperado, apenas 17% relativamente ao mesmo período. É portanto necessária a implementação de medidas que de alguma forma ajudem a um aumento da eficiência energética [11].

Relativamente a este cenário, a União Europeia (UE) tem dois grandes objetivos: reduzir o consumo de energia e evitar o desperdício energético. Para que estes sejam concretizados a UE adotou um plano de ação com o objetivo de reduzir em 20% o consumo de energia primária até 2020 [12].

Em Portugal existem cerca de 4 milhões de alojamentos para o setor doméstico, que contribuem com 17.7% do consumo de energia primária (1.1), sendo a eletricidade a principal fonte de energia consumida, representando 38.1% do total dessa energia consumida neste setor [1].

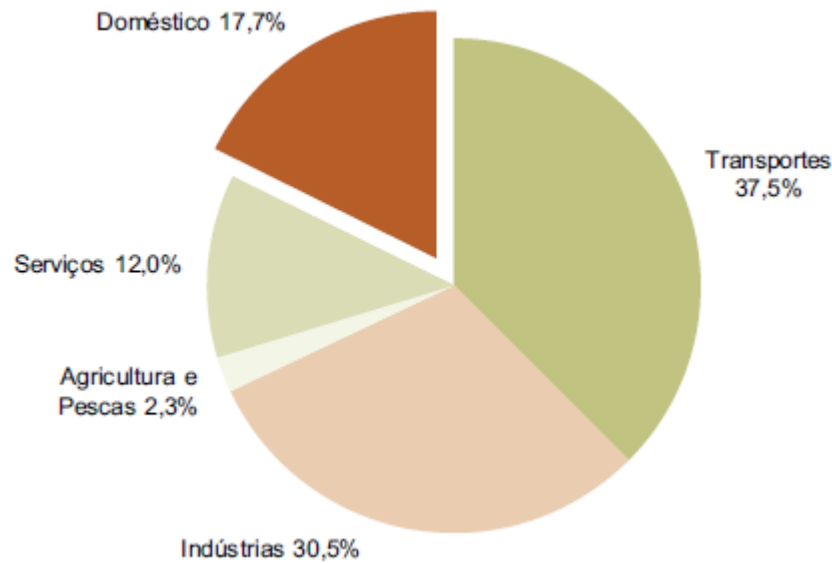


Figura 1.1: Repartição do consumo de energia final por setor. [1]

O consumo energético numa habitação varia consoante determinados fatores, como o local onde se encontra o edifício, a qualidade das infraestruturas, o isolamento térmico, o tipo de equipamentos instalados nessa residência e o uso que cada consumidor lhes dá. A ineficiência de alguns dos equipamentos bem como os maus hábitos de utilização por parte dos consumidores, são aspetos relativamente fáceis de alterar por forma a reduzir o consumo energético, aumentando assim a eficiência energética de cada habitação.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística e a Direção Geral de Energia e Geologia [1], é possível ver na figura 1.2 a distribuição do consumo de eletricidade por tipo de utilização no setor doméstico, de onde é de rápida perceção que os equipamentos elétricos, a iluminação e os eletrodomésticos utilizados na cozinha (por exemplo um forno elétrico) constituem uma grande percentagem de utilização. É ainda importante referir que os consumos energéticos nestes edifícios têm aumentado significativamente, onde uma habitação média tem aproximadamente um consumo elétrico médio de 4000 kWh por ano.

Este problema que é a ineficiência energética já vem de há muitos anos. Existem muitas soluções que ajudam a uma redução dos consumos energéticos, tanto em fases anteriores à construção de uma casa como posteriores. Em termos percentuais, é possível reduzir entre 10% a 40% os gastos de energia implementando medidas de baixo custo [13]. Através de uma utilização de energia elétrica competente, pode-se ter disponível uma maior variedade de serviços e conforto, sem aumentar o consumo.



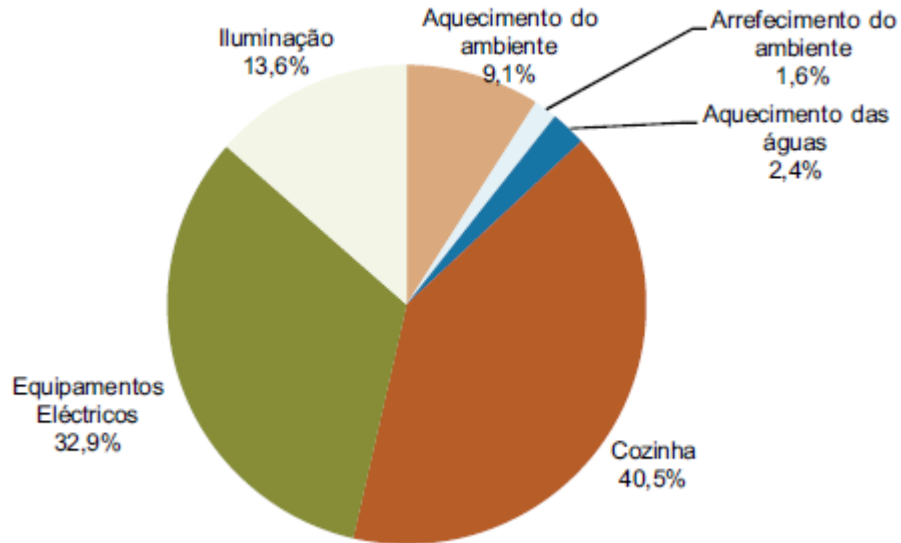


Figura 1.2: Distribuição do consumo de eletricidade por tipo de utilização. [1]

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo a monitorização não intrusiva dos consumos de energia elétrica no setor doméstico, com o intuito de melhorar a eficiência energética. Para isso, tem-se como objetivo, o desenvolvimento de uma plataforma de *hardware* e de um sistema computacional.

A plataforma de *hardware* tem como objetivo a aquisição dos sinais da linha elétrica, para que depois possam ser processados pelo sistema computacional, *interface* gráfica, ao qual se deu o nome de *Energy Consumption Monitoring* (ECM). Esta *interface*, tem como principal finalidade, para além do processamento dos respetivos sinais, transmitir ao utilizador as informações necessárias sobre o consumo dos equipamentos elétricos em utilização. É ainda de grande importância, a necessidade de conseguir transmitir ao consumidor qual ou quais os equipamentos elétricos em funcionamento num determinado momento, bem como a deteção em tempo real das mudanças de estado desses dispositivos elétricos. Pretende-se também, que o ECM consiga fornecer estimativas dos consumos elétricos por equipamento.

A partir da concretização destes objetivos, espera-se que o utilizador consiga reduzir os consumos elétricos através de uma análise das informações fornecidas pelo ECM.

## 1.3 Guia de Leitura

Para além deste capítulo que funciona como uma pequena introdução, este documento contém ainda os seguintes capítulos:

### **Capítulo 2 - Estado de Arte - Monitorização de Cargas**

Neste segundo capítulo é apresentado o estado da arte da monitorização de cargas,

onde se incluem a monitorização intrusiva e não intrusiva de cargas. É explicado cada um destes tipos de monitorização e identificadas as vantagens e desvantagens. São apresentados ainda alguns dos sistemas já existentes no mercado.

### **Capítulo 3 - A Solução Proposta**

Como o próprio nome indica, neste capítulo é apresentada a solução proposta para a monitorização dos consumos energéticos. São referidos todos os tipos de componentes utilizados no desenvolvimento da mesma, bem como a sua implementação (*hardware*). É mencionado o *software* usado e as tecnologias adotadas. Existe ainda referência ao sistema conceptual do ECM e ao que o constitui.

### **Capítulo 4 - Implementação do ECM**

Neste capítulo é explicado todo o processo de funcionamento do ECM, desde a aquisição de dados até à sua visualização na *interface* gráfica. Basicamente são apresentadas as capacidades do ECM e detalhados os modos de funcionamento do mesmo.

### **Capítulo 5 - Resultados Experimentais**

No capítulo 5, são fornecidos os resultados experimentais obtidos com o protótipo desenvolvido nesta dissertação, procedendo-se ainda a uma breve análise destes dados recolhidos.

### **Capítulo 6 - Discussão**

Este capítulo apresenta uma análise de todos os resultados experimentais obtidos de forma a validar a implementação do ECM.

### **Capítulo 7 - Conclusão**

Neste capítulo é realizada uma síntese do documento apresentado, abordando os aspetos mais relevantes deste.

### **Capítulo 8 - Propostas de Trabalhos Futuros**

Por fim, o capítulo 8 apresenta algumas propostas de trabalhos futuros de forma a melhorar o trabalho desenvolvido nesta dissertação.

## Capítulo 2

# Estado de Arte - Monitorização de Cargas

Neste capítulo são abordados os vários tipos de monitorização de cargas. Existem dispositivos capazes de uma monitorização ao nível do equipamento, do quadro elétrico e outros que possuem a capacidade dos dois anteriores. São também apresentados alguns dos equipamentos existentes no mercado.

### 2.1 Monitorização Intrusiva de Cargas

A monitorização intrusiva de cargas baseia-se na análise do comportamento de um equipamento elétrico no local onde este é ligado à tomada, ou seja, para este tipo de monitorização é necessário um dispositivo de aquisição de dados para cada equipamento elétrico a monitorizar. Desde já, conclui-se que este tipo de abordagem pode ser bastante dispendioso, pois para uma monitorização de vários equipamentos em simultâneo são também necessários vários dispositivos de recolha de dados. Por outro lado, a instalação destes sistemas é bastante fácil, bem como a sua utilização. Têm a capacidade de adquirir sinais de tensão e corrente de forma simples, conseguindo transmitir ao consumidor diversos valores relacionados com os consumos energéticos através de um visor incorporado no dispositivo. Outros, apesar de não possuírem um visor incorporado, têm a capacidade de enviar esses valores através de comunicações com ou sem fios para um software previamente instalado num computador, *tablet*, telemóvel, etc. Aqui o utilizador tem acesso a toda a informação enviada pelo dispositivo de monitorização, onde poderá comparar valores diariamente tentando de alguma forma alterar determinados hábitos com o intuito de reduzir os consumos elétricos.

#### 2.1.1 Sistemas Comercializados

Existem diversos aparelhos deste tipo no mercado, uns com umas funcionalidades mais simples e logicamente mais baratos e outros mais complexos e com um preço menos acessível ao público em geral. De seguida são apresentados e caracterizados alguns desses equipamentos.

### Kill A Watt Edge (P4490)

Criado pela empresa P3 *International*, o *Kill A Watt Edge*, representado na figura 2.1 é um dispositivo do tipo *plug in*. Este é capaz de apresentar valores relativos ao equipamento elétrico que está a monitorizar, tais como a tensão, corrente, potência, frequência e o respetivo custo energético, isto através de um monitor LCD que vem incorporado com o mesmo. Para além disto, é ainda possível programar o *Kill A Watt Edge* de forma a desligar o equipamento elétrico a uma determinada hora resultando assim algumas poupanças no final do mês. A principal função deste aparelho é a eliminação do desperdício de eletricidade dos equipamentos em *standby*, pois com o *Kill A Watt Edge* não é possível ter acesso a um histórico de consumos para que o consumidor altere alguns dos seus hábitos e de alguma forma reduza os consumos energéticos. Outra desvantagem é a necessidade do consumidor ter de possuir mais do que um aparelho destes quando se quer monitorizar vários equipamentos ao mesmo tempo [2].



Figura 2.1: Kill A Watt Edge (P4490) [2]

### Power Meter

Criado pela empresa australiana *Steplight*, o *Power Meter*, representado na figura 2.2 é mais um dispositivo de monitorização energética do tipo *plug in*. É capaz de medir valores energéticos como a tensão, corrente, fator de potência, frequência, o consumo de um equipamento elétrico e o respetivo custo, caso este tenha sido programado com a tarifa escolhida pelo consumidor. Estas informações são mostradas no monitor que o *Power Meter* tem incorporado. É ainda possível, controlar o tempo que o equipamento a monitorizar esteve ligado, através de um *timer* que este dispositivo possui. Com um preço bastante acessível (aproximadamente 20€), este, constitui uma boa solução devido à sua facilidade de utilização e ao seu baixo erro de medição [3].



Figura 2.2: Power Meter [3]

## 2.2 Monitorização Não Intrusiva de Cargas

A monitorização não intrusiva de cargas, necessita apenas de um equipamento de recolha de dados. Contrariamente à monitorização intrusiva, esta abordagem não requer um dispositivo de aquisição de dados para cada equipamento elétrico. Com este método, é ligado um dispositivo no quadro elétrico de cada habitação, que, normalmente através de um sensor de corrente ou de tensão adquire dados referentes aos consumos totais. Habitualmente, com o sensor, vem ainda um transmissor que por comunicação sem fios envia os valores adquiridos para um programa informático ou página *web*, onde estes podem ser visualizados de uma forma mais elegante, através de gráficos com consumos diários.

Para a instalação de um sistema deste género, é necessário, na maioria das vezes, um técnico, pois colocar um sensor (tensão ou corrente) no quadro elétrico não é tão linear como o método de funcionamento da monitorização intrusiva de cargas.

### 2.2.1 Sistemas Comercializados

#### Energy

O *Energy* é um serviço lançado pela operadora PT (Portugal Telecom) em conjunto com a ISA (*Intelligent Sensing Anywhere*) com o objetivo de reduzir os gastos energéticos dos consumidores através da monitorização dos consumos elétricos. Este serviço é suportado por um kit que inclui: um transmissor sem fios, um medidor de corrente elétrica (que se liga ao quadro elétrico), um dispositivo que recolhe dados (*iMeterbox*) que faz ligação ao router MEO do consumidor e um monitor LCD para visualização instantânea dos consumos. Este serviço é ideal para clientes MEO pois com a ativação do *widget energy* através da TV no MEO Interativo este funciona como uma Interface gráfica. É possível visualizar os consumos elétricos através de gráficos e comparar os seus custos entre diferentes tarifários, sendo que o *Energy* tem a capacidade de recomendar ao utilizador um tarifário que se adequa melhor ao seu perfil, bem como conselhos de como alterar hábitos

de forma a reduzir consumos e desperdícios de eletricidade. É ainda possível visualizar uma previsão de consumos, quer em valores monetários quer em valores de potência. Este serviço, com um preço de 89€, destina-se apenas a monitorizar o consumo total de habitações, não discriminando o consumo respetivo a cada equipamento. A figura 2.3 mostra o funcionamento deste serviço [4].

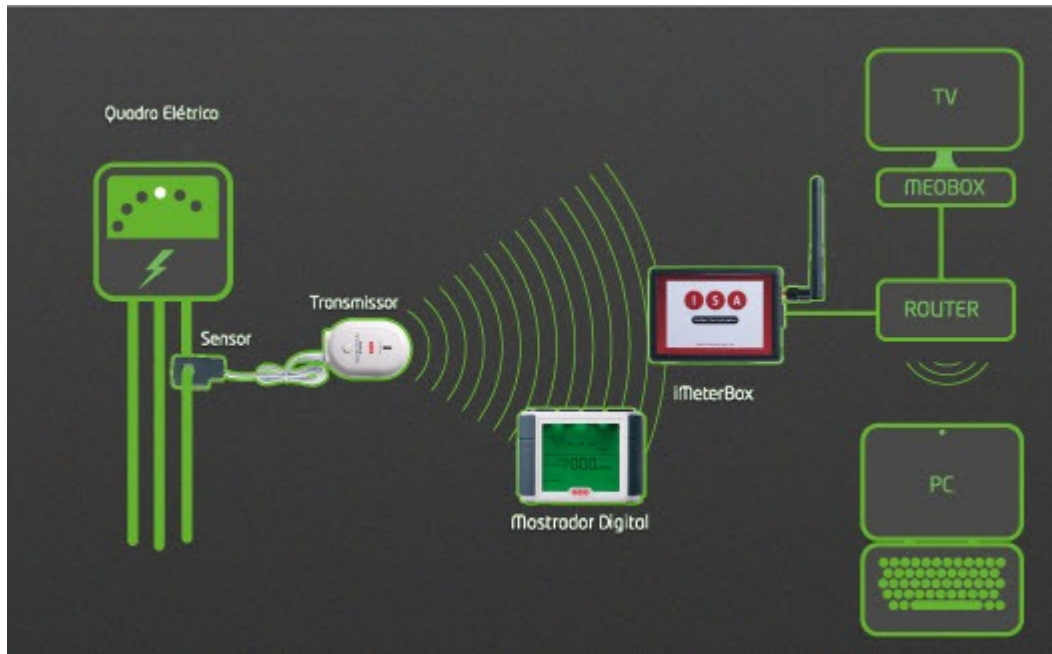


Figura 2.3: Esquema do funcionamento do *Energy* [4]

### Watson

O *Watson*, (figura 2.4) é um pouco diferente dos outros dispositivos de monitorização energética. Criado pela empresa britânica DIY Kyoto, este equipamento impressiona logo à primeira vista pelo seu design. Composto por uma pinça amperimétrica e um transmissor, estes depois de instalados no quadro elétrico, conseguem medir e transmitir valores de corrente para o próprio dispositivo *Watson*, que funciona como módulo de visualização. O *Watson* consegue medir a quantidade total de energia que está a ser utilizada numa habitação, mostrando esses valores com um jogo de números e cores, a cor azul significa baixo consumo e a cor vermelha um elevado consumo energético. Para além disto, este sistema consegue fazer previsões de custos, tendo em conta as tarifas aplicadas em cada habitação. Ao contrário da maioria, o *Watson* não tem a capacidade de enviar em tempo real as informações adquiridas para um computador. O método utilizado é o armazenamento de dados (até um máximo de 28 dias) no próprio dispositivo *Watson*, onde a qualquer altura, o utilizador pode conectar este a um computador e descarregar o histórico de consumos para uma análise desses dados. De notar, que existe um software próprio para essa análise [5].



Figura 2.4: Wattson [5]

## 2.3 Monitorização ao Nível do Equipamento e do Quadro Elétrico

Existem ainda sistemas capazes de fazer os dois tipos de monitorização apresentados em cima. Um sistema deste género, que basicamente é a junção dos dois métodos apresentados anteriormente, para além de ter um sensor de corrente e/ou tensão ligado no quadro elétrico, tem ainda dispositivos que se ligam a cada tomada elétrica que possua um equipamento a monitorizar. Resumindo, este método consegue transmitir ao consumidor consumos totais e consumos discriminados. Desta forma o utilizador consegue saber onde atuar para que exista uma redução de consumos. Apesar de ser possível saber os consumos de cada equipamento elétrico discriminadamente, continua a ser necessário um dispositivo de recolha de dados para cada equipamento elétrico, o que constitui uma desvantagem, principalmente a nível monetário.

### 2.3.1 Sistemas Comercializados

#### Cloogy

A empresa ISA entrou no mercado do consumo energético com a criação do *Cloogy*, apresentado na figura 2.5. Este sistema, que permite monitorizar e controlar os consumos de eletricidade ao longo do dia é composto por quatro equipamentos, um sensor e transmissor que se liga ao quadro elétrico, um concentrador que recebe a informação do transmissor e das tomadas inteligentes, uma tomada inteligente (uma para cada equipamento elétrico que se queira monitorizar) e, em algumas versões, um monitor onde se pode consultar a informação sobre os consumos em tempo real. É ainda possível ter acesso a todos os dados adquiridos e processados por este sistema via web, onde se podem consultar os consumos globais, discriminados e ainda compará-los com outros períodos. O *Cloogy*, não só possibilita ao cliente o controlo de equipamentos à distância, ligando-os ou desligando-os, mas também permite que se defina um horário de funcionamento para cada dispositivo elétrico, eliminando assim desperdícios relacionados com os consumos

em *standby*. Isto é possível através de *smartphones* por exemplo. O *Cloogy* consegue ainda efetuar uma análise da potência contratada com o intuito de verificar se é a ideal a cada consumidor [6].



Figura 2.5: Cloogy [6]

### OWL Micro+ (CM180)

Este dispositivo de monitorização sem fios, com um monitor incorporado, consegue apresentar valores da potência elétrica consumida e o seu custo. A aquisição de dados é realizada através de um sensor colocado no quadro elétrico, sendo que a pinça do respetivo sensor pode ser colocada no fio da fase ou no neutro. É possível utilizar este dispositivo para medir o consumo total de uma habitação ou apenas para medir o consumo de um único equipamento. O consumo de eletricidade é memorizado diariamente, semanalmente e mensalmente sendo ainda apresentadas as respetivas médias. Com um preço bastante acessível (49,90€) permite ainda configurar até três tarifas, sendo ideal para clientes com tarifa bi-horária, no entanto não é possível programar ciclos semanais com diferentes horários para dias úteis e fins de semana. Este equipamento, representado na figura 2.6 é fabricado pela empresa OWL [7].





Figura 2.6: OWL Micro+ (CM180) [7]

## 2.4 Monitorização Não Intrusiva de Cargas - Uma visão mais detalhada

O projeto desenvolvido nesta dissertação tem como base a monitorização não intrusiva de cargas. A maioria dos sistemas deste género comercializados conseguem fornecer informações ao consumidor acerca dos consumos globais, sendo que alguns também conseguem discriminar os gastos por equipamento, mas, para além do dispositivo ligado no quadro elétrico necessitam de um aparelho de aquisição de dados para cada equipamento elétrico. Pretende-se então, que seja possível uma desagregação da carga elétrica a partir do quadro elétrico de cada habitação.

Os primeiros estudos sobre esta abordagem surgiram na década de 80 por George Hart, na altura investigador do *Massachusetts Institute Technology* (MIT) onde desenvolveu um projeto ao qual deu o nome de *Non-Intrusive Appliance Load Monitoring* (NIALM) [14]. Este projeto consiste na monitorização do comportamento dos equipamentos elétricos.

Na maioria dos métodos de NIALM existem três princípios semelhantes. Primeiro, e à semelhança do ser humano, cada um com uma impressão digital diferente, os equipamentos elétricos possuem características que os distinguem, normalmente referidas como assinaturas elétricas. Assim é preciso adquiri-las e caracteriza-las matematicamente. Em segundo, é necessária a instalação de *hardware* no quadro elétrico, habitualmente um sensor de corrente e/ou tensão. Por fim, é indispensável um algoritmo matemático que consiga detetar qual ou quais os equipamentos elétricos em funcionamento [15].

Em [14] foram testadas várias soluções, onde os equipamentos elétricos foram divididos em quatro categorias. Os equipamentos da categoria número um são aqueles que têm um consumo permanente (e.g. luzes de emergência). Na categoria número dois, estão a maioria dos aparelhos elétricos presentes numa habitação, são aqueles com um

funcionamento do tipo ON/OFF (por exemplo a televisão, torradeira, etc). A terceira categoria contém os equipamentos denominados *Finite State Machines* (FSM), ou seja, estes possuem vários estados de funcionamento sendo utilizados de uma forma periódica. Por exemplo, uma máquina de lavar roupa contém vários programas de lavagens, sendo que para cada programa os consumos energéticos diferem. Por fim, a quarta e última categoria contém os equipamentos em que os consumos energéticos variam durante o seu funcionamento mas de uma forma não periódica.

Apesar de esta divisão ter sido efetuada, em [14] apenas foi possível detetar equipamentos das categorias dois e três através das alterações da potência ativa e reativa.

O método criado pelo MIT, primeiramente deteta alterações de estados estacionários, ou seja, quando a potência ativa e reativa passam de um valor constante para um outro valor constante. Quando isto acontece, um algoritmo analisa estas informações e representa-as num gráfico de duas dimensões, como representado na figura 2.7, retirada de [15].

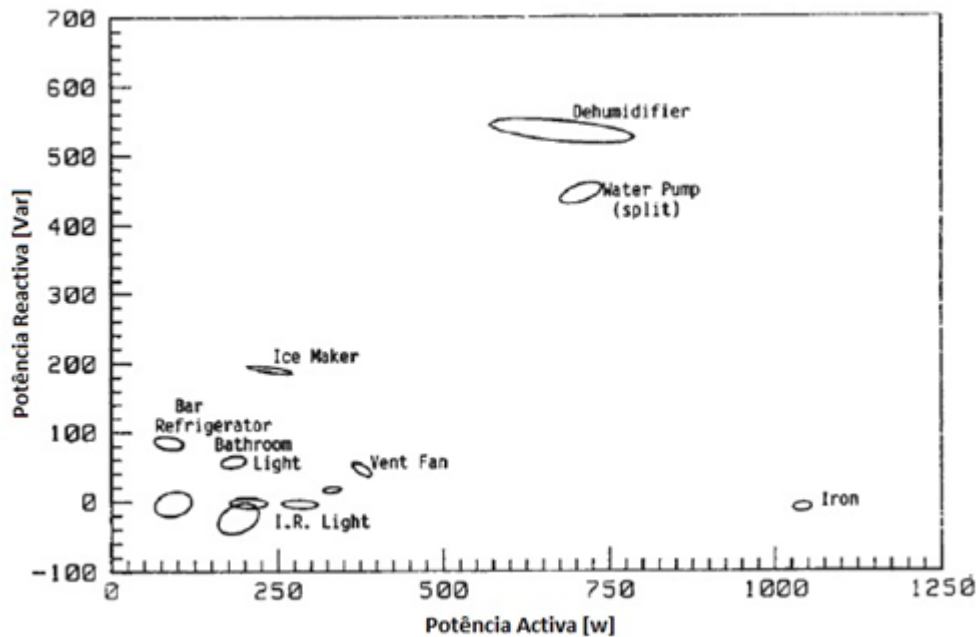


Figura 2.7: Potência reativa vs potência ativa em alguns equipamentos

Quando são detetadas variações de potência ativa com a mesma magnitude mas com sinais opostos, estas correspondem a equipamentos da categoria número dois (do tipo ON/OFF), como representado na figura 2.8.

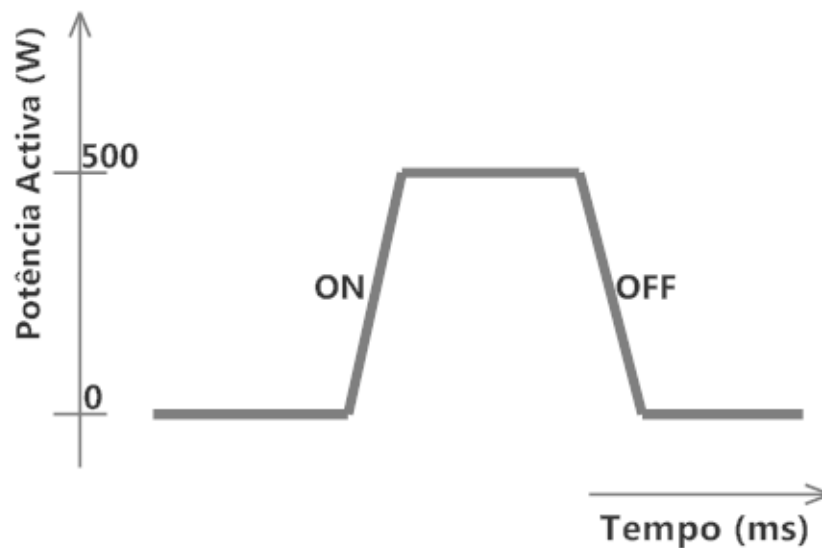


Figura 2.8: Mudança de estados de um mesmo equipamento de segunda categoria

Seguidamente, para as assinaturas elétricas não correspondidas, verifica-se se estas pertencem a eventos já detetados ou se pertencem a um novo grupo de assinaturas. Este passo é denominado resolução de anomalias. Por fim, são associadas as assinaturas elétricas aos equipamentos correspondentes, usando para isso as informações adquiridas durante todo o processo ou um histórico de dados. Na figura 2.9, retirada de [15] é possível visualizar alguns dos eventos que ocorrem numa habitação.

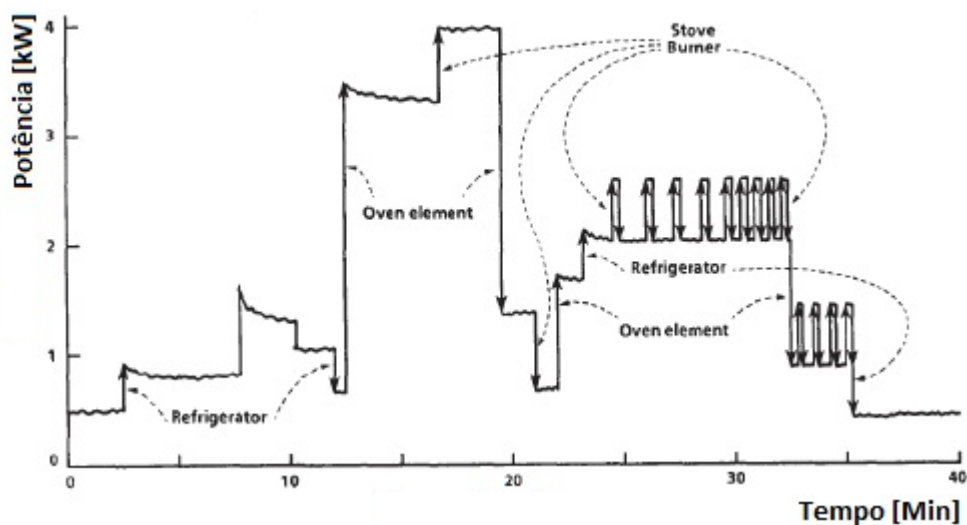


Figura 2.9: Variação da potência ativa em função do tempo numa habitação

Apesar de tudo, o algoritmo do NIALM não está preparado para as flutuações de potência

no edifício a monitorizar. Tendo em conta isso e com o objetivo de aumentar a viabilidade do mesmo, Hart [14] propôs normalizar o sinal de potência com a seguinte expressão:

$$P_{norm}(t) = \left[ \frac{120}{V(t)} \right]^2 P(t) \quad (2.1)$$

Onde,  $V$  é a tensão e  $P$  a potência ativa. O valor 120, corresponde à tensão fornecida pela rede elétrica dos Estados Unidos da América.

O método do NIALM consegue detetar facilmente os equipamentos do tipo ON/OFF, ou seja, equipamentos da categoria dois, pois este assume que as potências consumidas nos instantes em que ocorrem as comutações de estados são idênticas, no entanto isto não acontece para todos os equipamentos desta categoria, visto que em alguns destes aparelhos elétricos podem ocorrer variações de 10% na potência consumida no decorrer do seu funcionamento [15].

Outra das limitações deste método é o facto de se partir do princípio que cada equipamento possui diferentes consumos de potência ativa, o que não constitui uma verdade. Assim sendo, esta premissa implica que o algoritmo de NIALM possa atribuir falsos eventos.

Em [16] é descrita uma nova solução para detetar e reconhecer automaticamente o funcionamento de um equipamento elétrico numa habitação através de um único ponto. Esta solução baseia-se em examinar os sinais contínuos de interferência eletromagnética gerados pelo dispositivo SMPS (*Switching-Mode Power Supply*). Por outras palavras, este sistema, denominado de *ElectriSense*, “sente” a interferência eletromagnética criada pelo SMPS.

Este sistema consiste num módulo *plug-in* (denominado *PLI-Power Line Interface*) que é ligado a qualquer tomada elétrica de uma habitação. À saída do módulo *plug-in* é conectado um sistema de aquisição de dados de alta velocidade com base no USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) que digitaliza o sinal analógico e o transmite através de uma conexão USB para ser analisado por ação de GNU Radio<sup>1</sup> em tempo real. De seguida os algoritmos utilizados por este dispositivo (“*ElectriSense*”) conseguem extrair informações que permitem identificar e classificar o dispositivo que está a causar um determinado evento.

Para capturar e analisar o ruído elétrico, foi construído um módulo PLI personalizado com o objetivo de filtrar a frequência de modo a que o analisador de espectro ou qualquer dispositivo analógico-digital não seja sobrecarregado. Este módulo PLI consiste num filtro que tem uma resposta essencialmente plana a partir de 60Hz. Possui uma banda larga suficiente que permite analisar uma gama completa de qualquer interferência eletromagnética. Por razões de segurança e isolamento da linha de tensão, são necessários condensadores de alta tensão.

<sup>1</sup>Ferramenta de desenvolvimento de *software*, cujo o objetivo é permitir a manipulação de sinais de radiofrequência.

O sinal filtrado é então introduzido no USRP que atua como um conversor analógico-digital a uma taxa de 1MHz definida por meio de software, que depois de digitalizado é transmitido por USB para o software de processamento como foi dito em cima. O sinal recebido pelo USRP é armazenado em buffer em 2048 pontos que são tratados usando as transformadas rápidas de Fourier (FFT - *Fast Fourier Transforms*) de forma a obter a frequência de domínio no sinal. O vetor de FFT é calculado 244 vezes por segundo, onde é introduzido depois na detecção de eventos e no software de extração. Uma vez que a variabilidade do ruído inicial é elevada, é necessário um vetor de frequência média de entrada ao longo do tempo para se obter uma linha de base estável.

Quando o sistema inicia pela primeira vez, calcula uma média de 25 vetores de frequência e armazena-os como a assinatura de ruído inicial, figura 2.10(Esquerda). Posteriormente uma nova janela é calculada a cada 25 vetores de frequência e a diferença entre estes e o ruído inicial é calculada. Este processo é realizado com o objetivo de se conseguir detetar a presença de um novo ruído na assinatura inicial, como demonstra a figura 2.10(Centro). Cada vez que um novo evento é detetado, o vetor de ruído inicial é apropriadamente atualizado de modo a refletir uma nova assinatura de ruído. O algoritmo de extração característico encontra picos acima do limite utilizando o vetor de diferença e adapta uma função de *Gauss* para extrair a amplitude, a média e a variação dos parâmetros, sendo que a mudança na amplitude pode ser positiva ou negativa dependendo se o dispositivo está ligado ou desligado (figura 2.10(Direita)). Um vetor característico é então criado para o evento “suspeito” utilizando os parâmetros da frequência central, que geralmente é a componente da frequência global máxima.

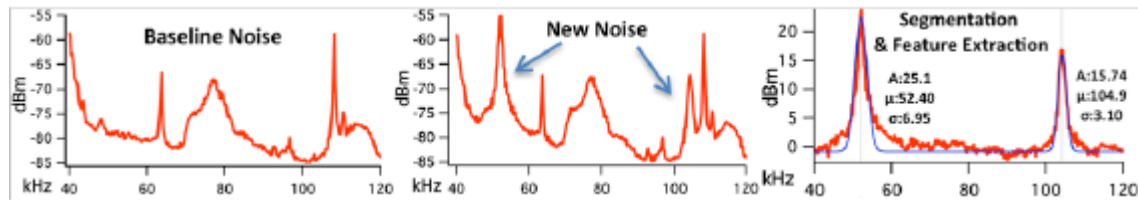


Figura 2.10: (Esquerda)-Ruído base observado na linha elétrica. (Centro)-Detecção que um novo equipamento foi ligado. (Direita)-Extração do novo sinal e as suas características.



## Capítulo 3

# A Solução Proposta

Neste capítulo apresenta-se a solução implementada no desenvolvimento desta dissertação. Começa-se por apresentar a descrição do sistema, a configuração experimental e a estrutura geral do ECM. Seguidamente é indicado o *hardware* utilizado neste projecto bem como a sua implementação. É ainda referido o *software* utilizado e as tecnologias adotadas. Por fim é apresentado o sistema conceptual do ECM, que é dividido em três níveis: sistema funcional, arquitetural e sistema de dados.

### 3.1 Descrição do Sistema

No decorrer deste projeto, foi desenvolvido um sistema, com o nome *Energy Consumption Monitoring* (ECM), capaz de fazer a monitorização de consumos energéticos com a finalidade de ajudar o utilizador a perceber de onde vêm os custos mais elevados e assim reduzir a fatura elétrica mensal alterando alguns hábitos que sejam desnecessários. Este sistema tem a capacidade de mostrar ao consumidor várias informações em tempo real sobre os equipamentos que estão em funcionamento nesse momento. É possível visualizar a tensão, corrente, potência ativa, fator de potência, a energia consumida e os custos monetários.

### 3.2 Configuração Experimental

Na figura 3.1, está representada a configuração experimental deste projeto que teve como principais componentes os seguintes:

1. Sensor de Tensão (LV25-P)
2. Sensor de Corrente (CSLA1CD)
3. Amplificador de Instrumentação (AD623)
4. Microcontrolador (PIC18F4685)
5. Optoacoplador (4n25)

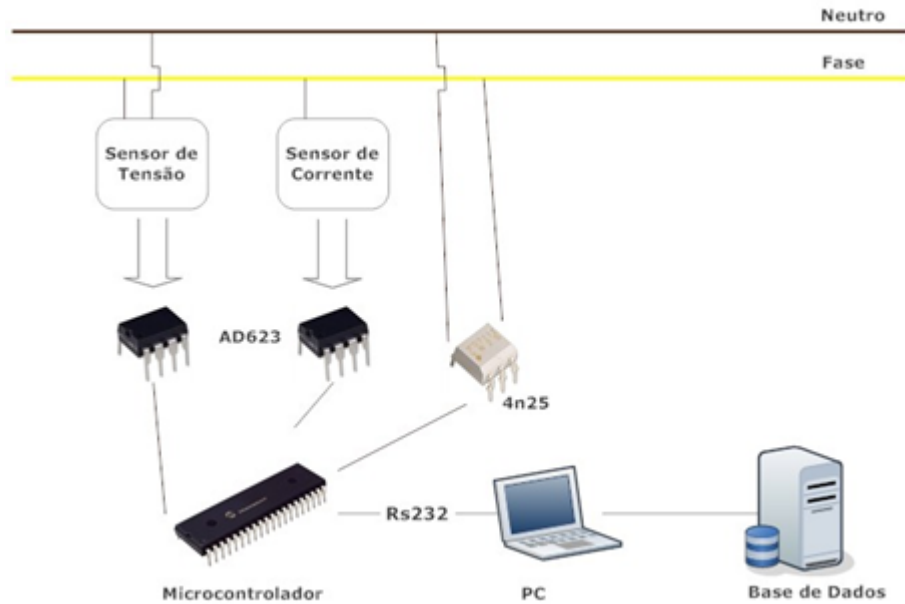


Figura 3.1: Configuração Experimental do ECM

De uma forma muito básica, os sensores de corrente e de tensão, estão ligados à linha elétrica do edifício a monitorizar, adquirindo os respetivos sinais. Estes são ajustados entre um intervalo de 0 - 5V por parte dos amplificadores (AD623) para de seguida serem processados pelo microcontrolador (PIC18F4685) que, consoante as necessidades do utilizador, os envia para um computador onde são tratados e posteriormente apresentados na interface gráfica. Em relação à base de dados, esta tem a função de gravar as várias características de cada equipamento elétrico, para que seja possível identificar quando um determinado aparelho se encontra em funcionamento. Mais à frente neste trabalho é falado em detalhe sobre cada componente e processo que compõe este sistema.

### 3.3 Estrutura Geral

Como se pode ver na figura 3.2, este sistema utiliza o protocolo de comunicação RS232 entre o microcontrolador e o computador. Por ação do utilizador, o computador envia um pedido de dados ao microcontrolador, que recebe os sinais analógicos da tensão e da corrente através dos respetivos sensores. Estes, são convertidos em sinais digitais por intermédio do microcontrolador que de seguida os envia por porta série para o computador. Depois de recebidos, existe um tratamento de dados para que possam ser apresentados corretamente na *interface* gráfica.



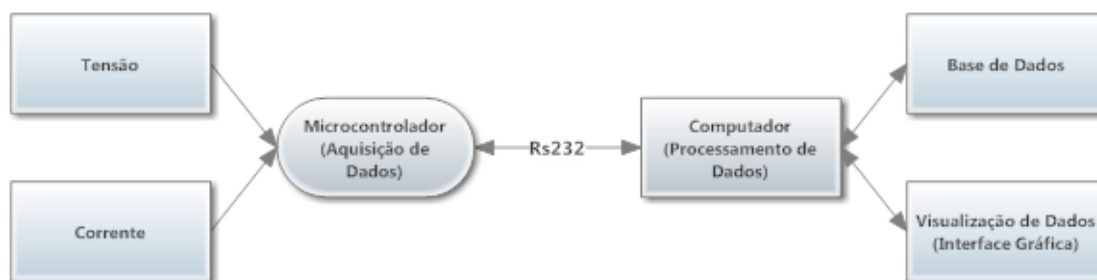


Figura 3.2: Estrutura geral do ECM

### 3.4 Hardware Utilizado e a sua Implementação

Neste trabalho foram utilizados diversos componentes para o desenvolvimento de um circuito elétrico capaz de enviar para a interface gráfica os sinais de tensão e corrente com a máxima precisão possível e com o mínimo ruído. Seguidamente são apresentados alguns desses elementos.

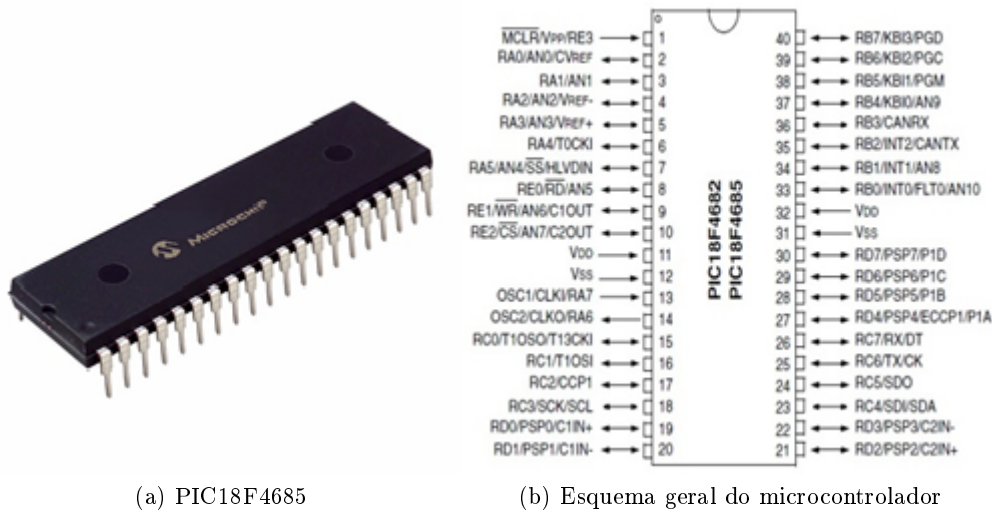
#### 3.4.1 Placa PICDEM2-PLUS e Microcontrolador (PIC18F4685)

Nesta dissertação foi utilizada a placa de desenvolvimento *PICDEM 2 Plus Demonstration Board* (figura 3.3). Entre as várias potencialidades desta placa, a possibilidade de possuir três sockets para microcontroladores (18, 28 e 40 pinos) e o facto de incluir um encaixe RS232 e o hardware associado para uma conexão direta desse protocolo foram uma das principais razões para a sua escolha [17].

Figura 3.3: Placa *PICDEM 2 Plus Demonstration Board*

Relativamente à escolha do microcontrolador, representado na figura 3.4a esta teve em consideração a sua capacidade de memória interna. Era essencial um microcontrolador com bastante memória para que o número de dados adquiridos fosse o maior possível. Recorreu-se a um microcontrolador de 8 bits da família PIC18 (PIC18F4685), fabricado pela Microchip. Os Pic's 18 são os mais evoluídos dentro da gama de microcontroladores de 8 bits, sendo muito utilizados em vários projetos devido à sua relação preço-desempenho bastante boa [18]. Este PIC tem como principais características as seguintes:

1. Memória Flash para programação de 96Kbytes;
2. 3338 bytes de memória SRAM;
3. 1024 bytes de memória EEPROM;
4. 40 pinos DIP;
5. 11 ADC's;
6. Suporta comunicação RS232;
7. 4 Timers: 1 de 8 bits e 3 de 16 bits;



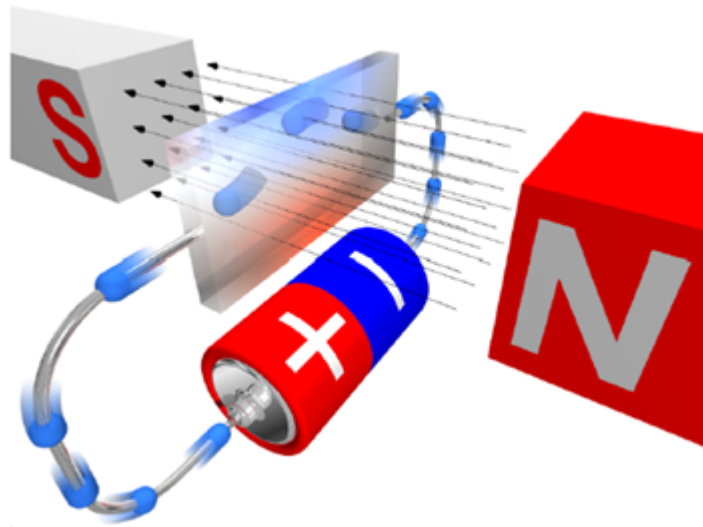
(a) PIC18F4685

(b) Esquema geral do microcontrolador

Figura 3.4: O microcontrolador

### 3.4.2 Transdutores de Tensão e Corrente

Nesta dissertação foram utilizados dois transdutores, um de tensão e um de corrente. Tanto um como o outro funcionam com base no princípio do Efeito de *Hall*. Basicamente, este princípio baseia-se numa diferença de potencial que acontece nas extremidades de um condutor quando se submete esse mesmo condutor elétrico a um campo magnético perpendicular à direção da corrente elétrica. Assim sendo, verifica-se um aumento de cargas nas extremidades do condutor criando uma diferença de potencial (Figura 3.5).

Figura 3.5: Princípio de funcionamento do Efeito de *Hall* [8]

Os transdutores utilizados neste trabalho foram escolhidos consoante as suas características. Como sensor de tensão, foi escolhido o LV25-P fabricado pela LEM e como sensor de corrente optou-se pelo CSLA1CD da Honeywell S&C. Nas tabelas 3.1 e 3.2 são apresentadas as principais características de cada um deles.

| LV25-P                                       |
|--|
| Excelente precisão                           |
| Muito boa linearidade                        |
| Rápido tempo de resposta                     |
| Grande imunidade a interferências exteriores |

Tabela 3.1: Características do transdutor de tensão LV25-P.

| CSLA1CD  |
|--|
| Excelente precisão                                       |
| Muito boa linearidade                                    |
| Rápido tempo de resposta                                 |
| Baixa dissipação de energia                              |
| Corrente máxima limitada apenas pelo tamanho do condutor |

Tabela 3.2: Características do transdutor de corrente CSLA1CD.

Relativamente ao sensor de tensão, representado na figura 3.6a, este é baseado no princípio do Efeito de *Hall*, como referido em cima, em circuito fechado (*closed loop*). Suporta tensões de entrada entre os 10 e os 500V e possui isolamento galvânico entre o circuito primário e o secundário, o que se adequa para este trabalho. Como este sensor foi alimentado a 12V foi necessário dimensionar a resistência de medida,  $R_m$ , de modo a que

a corrente no primário não ultrapassasse os 10 mA (figura 3.6b). Na documentação do LV25-P sugerem-se valores de  $R_m$  entre os 30 e os 190  $\Omega$  e depois de alguns testes efetuados chegou-se a um valor para a resistência de medida na ordem dos 100  $\Omega$ . No que diz respeito à resistência do primário, foram utilizadas as informações presentes no *datasheet* do transdutor, onde aconselham que para uma corrente máxima de 10mA a resistência do primário  $R_1$  deverá ser igual a 25k $\Omega$ /2.5W. No entanto e depois de feitas algumas medições concluiu-se que uma resistência com o valor de 27k $\Omega$ /3W seria mais adequada [9].

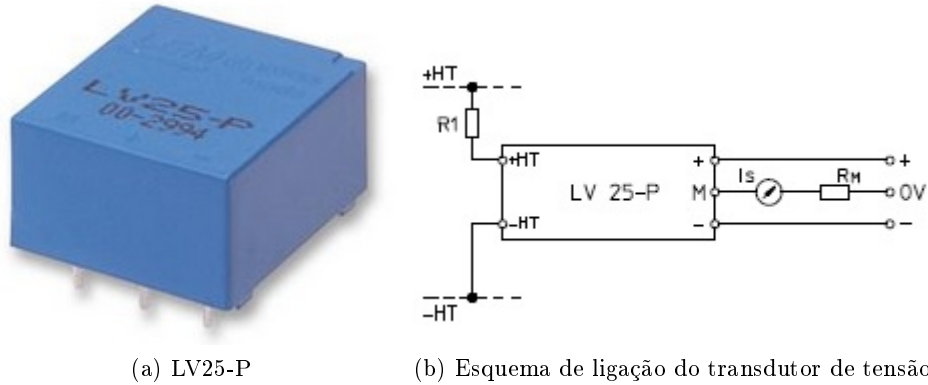


Figura 3.6: Transdutor de tensão LV25-P da LEM [9]

Em relação ao sensor de corrente, apresentado na figura 3.7a, o princípio de funcionamento é idêntico ao sensor de tensão, no entanto, existem algumas diferenças como o facto do condutor de corrente passar por uma abertura existente no CSLA1CD (figura 3.7b), sendo que a sensibilidade das suas medições aumenta consoante o número de voltas dadas em torno do sensor. O objetivo deste transdutor é a deteção de variações de corrente na linha transformando-as em variações de tensão (*output*), para que possam ser recebidas pelo microcontrolador. Este sensor foi alimentado a 5V e antes dos sinais de saída serem enviados para o microcontrolador passam por um operador amplificador (AD623) como vai ser explicado mais em baixo [19].

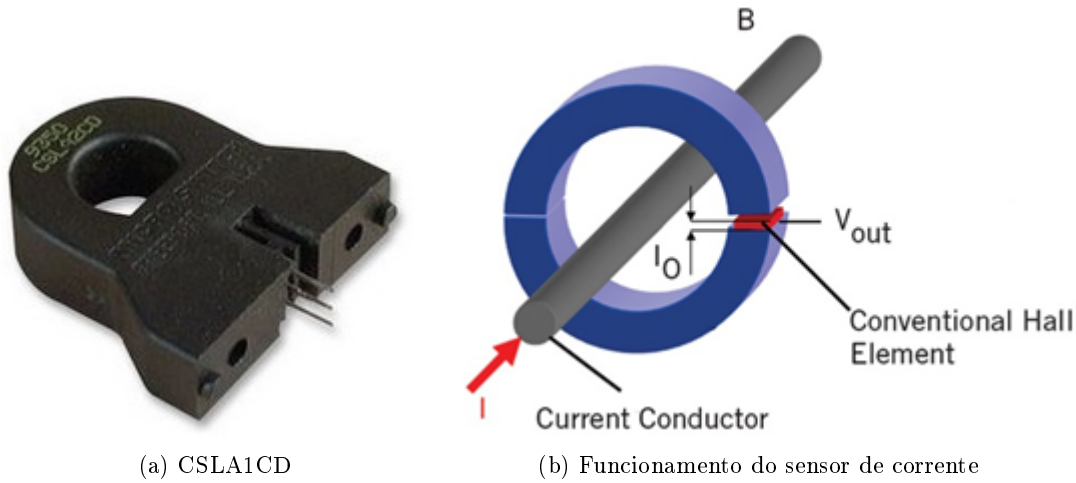


Figura 3.7: Transductor de Corrente CSLA1CD da Honeywell

### 3.4.3 Amplificador de Instrumentação

Para que os sinais provenientes dos transdutores de tensão e corrente fossem amplificados e filtrados, foram utilizados amplificadores de instrumentação da Analog Devices, o AD623. Este amplificador é de baixo consumo energético, fácil de utilizar, possui uma elevada impedância de entrada, baixa impedância de saída e permite ganhos entre 1 e 1000. Uma outra característica bastante importante neste amplificador é a excelente relação de rejeição em modo comum, mais conhecida por CMRR (*Common Mode Rejection Ratio*). Este facto é particularmente considerável, uma vez que os sinais medidos são de baixas tensões e o ruído pode-se tornar num verdadeiro problema [20].

Para cada um dos transdutores foi utilizado um AD623. Relativamente ao amplificador aplicado no tratamento dos sinais recebidos pelo sensor de corrente, foi necessário proceder ao dimensionamento de alguns componentes, a maioria resistências, para que as tensões de saída estivessem compreendidas entre os 0 e os 5V. Como o sinal de saída varia com o tempo de forma sinusoidal, houve a necessidade de colocar a linha dos 0V em torno dos 2,5V. Para isso introduziu-se um divisor resistivo entre o GND e os 5V. Depois de efetuados os cálculos a partir de 3.1, resultou  $R_7=12k\Omega$  e  $R_6=10k\Omega$ , como mostra a figura 3.8. Foi necessária a utilização destes valores pois, como vai ser explicado mais à frente, a fonte de alimentação utilizada neste projeto fornece aproximadamente 5,44V em vez de 5V.

$$V_{out} = \frac{R_6}{(R_6 + R_7)} V_{in} \quad (3.1)$$

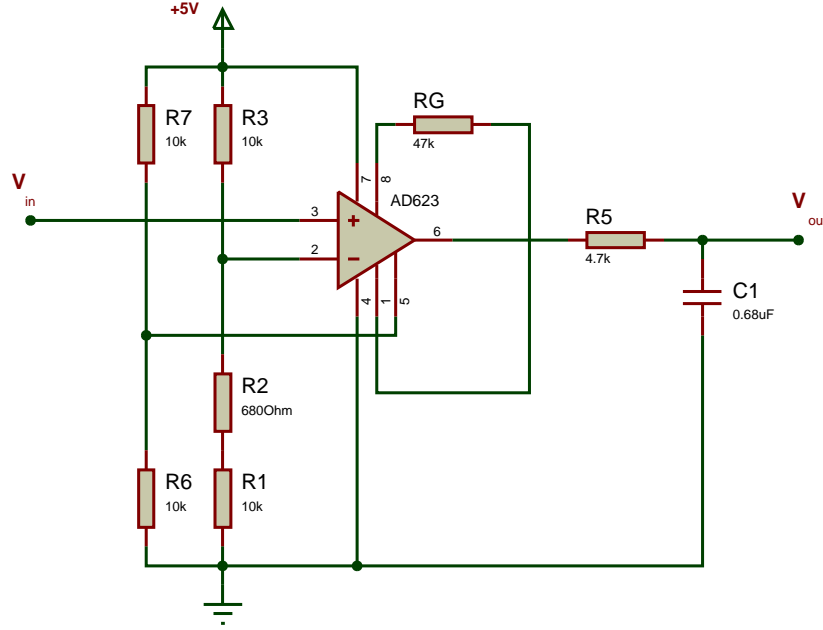


Figura 3.8: Circuito representativo do tratamento dos sinais de corrente

Sendo assim, com a utilização desses valores, conseguiu-se que o *output* deste divisor resistivo ficasse em torno dos 2.5V (aproximadamente 2.47V). Este  $V_{out}$  foi conectado ao pino 5 do AD623, denominado por *Reference Terminal*, que tem como função definir a tensão de saída correspondente à linha de 0V. Em relação às entradas número 2 e 3, respetivamente  $V_{in-}$  e  $V_{in+}$ , do amplificador operacional, era fundamental que ambas tivessem o mesmo valor de tensão, ou seja,  $V_{in-} = V_{in+}$ . Esta relação é de extrema importância, porque caso isso não acontecesse o ganho aplicado no AD623 iria amplificar essa diferença de tensões provocando erros nas medições obtidas. À entrada  $V_{in+}$  (entrada não inversora) ficou ligado o sinal de saída do transdutor de corrente, que como visto em cima, tem um valor de tensão na ordem dos 2.81V. Assim sendo, para que a entrada  $V_{in-}$  (entrada inversora) tivesse um valor de tensão igual a  $V_{in+}$ , foi necessário mais uma vez implementar um divisor resistivo. Depois de efetuados os cálculos por 3.2 e 3.3, resultou que  $R_1=R_3=10k\Omega$  e  $R_2=680\Omega$ , para que a saída deste divisor resistivo fosse aproximadamente 2.81V.

$$R_x = R_1 + R_2 \quad (3.2)$$

$$V_{out} = \frac{R_x}{R_x + R_3} V_{in} \quad (3.3)$$

Foi ainda necessário dimensionar os valores das resistências  $R_g$  e  $R_5$ , no entanto, os valores destas resistências foram escolhidos depois de efetuados vários testes e medições em conjunto com o software utilizado neste projeto. Depois de analisados os resultados destes ensaios definiu-se:  $R_g=47k\Omega$  e  $R_5=4.7k\Omega$ . Estes experimentos foram baseados na análise dos resultados obtidos pelas ADC's do PIC18F4685, que como sabido tem uma resolução de 10 bits, ou seja, para uma tensão de entrada neste microcontrolador entre os 0 e os 5V as amostras podem ser quantificadas em  $2^{10}=1024$  níveis. Com os valores de  $R_g$  e  $R_5$  acima mencionados, conseguiu-se uma margem de cerca de 171 níveis discretos (pico a pico) para uma corrente eficaz de 4A. Este processo será explicado mais à frente nesta dissertação.

Com  $R_g=47k\Omega$  e a partir de 3.4, este amplificador operacional ficou com um ganho de aproximadamente 3.12.

$$G = 1 + \frac{100k\Omega}{R_g} \quad (3.4)$$

Por fim, foi ainda implementado um filtro passa-baixo, com o principal objetivo de eliminar algum ruído existente no sinal. A partir do dimensionamento de  $R_5$  e  $C_1$  resultou uma frequência de corte de aproximadamente 50Hz, calculada por 3.5.

$$f_c = \frac{1}{(2.\pi.R_5.C_1)} \quad (3.5)$$

No que diz respeito ao amplificador operacional utilizado para o tratamento dos sinais adquiridos pelo transdutor de tensão, o procedimento do dimensionamento foi bastante idêntico ao explicado em cima. Mais uma vez recorreu-se a um divisor resistivo (figura 3.9) com  $V_{out}$  conectado no pino 5 (*Reference Terminal*) do AD623 para que a linha dos 0V ficasse aproximadamente nos 2.5V, pois o sinal recebido é de forma sinusoidal. Depois de efetuados os cálculos, utilizou-se  $R_3$  como três resistências em série, cada uma de  $10k\Omega$ , e  $R_2$  com valor de  $10k\Omega$ . Com este divisor resistivo foi possível colocar a linha dos 0V em 2.65V. Apesar de ser uma diferença de 0.15V em relação ao valor desejado (2.5V), esta não é relevante visto que os valores de tensão não variam tanto como os sinais de corrente, sendo que este valor adequa-se perfeitamente pois não é necessária essa sensibilidade de valores.

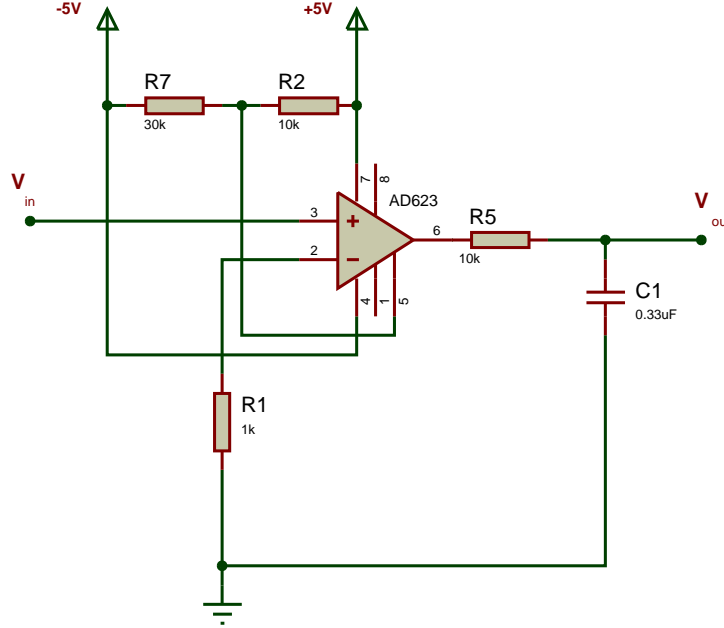


Figura 3.9: Circuito representativo do tratamento dos sinais de tensão

Para este amplificador não foi necessário colocar qualquer tipo de resistência de ganho,  $R_g$ , sendo assim e como referido no *datasheet do AD623*,  $G=1$  quando não há utilização de  $R_g$ . Optou-se por esta hipótese depois de analisados vários testes e medições em conjunto com o software utilizado, onde se conseguiu uma margem de 370 níveis discretos (pico a pico), para uma tensão eficaz de 230V como resultado da conversão analógico-digital realizada pelo microcontrolador. A resistência  $R_4$  tem interferência direta nestes resultados, sendo que esta participa ativamente nas medições referidas, onde se chegou à conclusão que com  $R_4=10k\Omega$  os resultados obtidos pela ADC do PIC18F4685 eram bastante aceitáveis. Para que se pudesse reduzir algum ruído existente nos sinais de tensão, foi instalado um filtro passa-baixo, de onde resultou uma frequência de corte de aproximadamente 50Hz, calculada a partir de 3.6.

$$f_c = \frac{1}{(2.\pi.R_5.C_1)} \quad (3.6)$$

#### 3.4.4 Optoacoplador

Para que a conversão dos sinais analógicos aconteça com precisão, foi necessário construir um circuito de deteção da passagem pelo zero na onda sinusoidal da linha elétrica. Esta



técnica, conhecida por *zero crossing detector*, consiste em controlar o disparo de aquisição de sinais por parte do microcontrolador, para que esta aconteça no momento em que a onda sinusoidal da tensão passe pelo valor de 0V. Da mesma forma, esta técnica informa também o microcontrolador do momento em que a aquisição dos sinais analógicos deve ser concluída. Para que isto fosse possível, recorreu-se à utilização de um optoacoplador, o 4n25 da *Fairchild Semiconductor* [21]. Na figura 3.10 está representado o circuito implementado de deteção da passagem pelo zero.

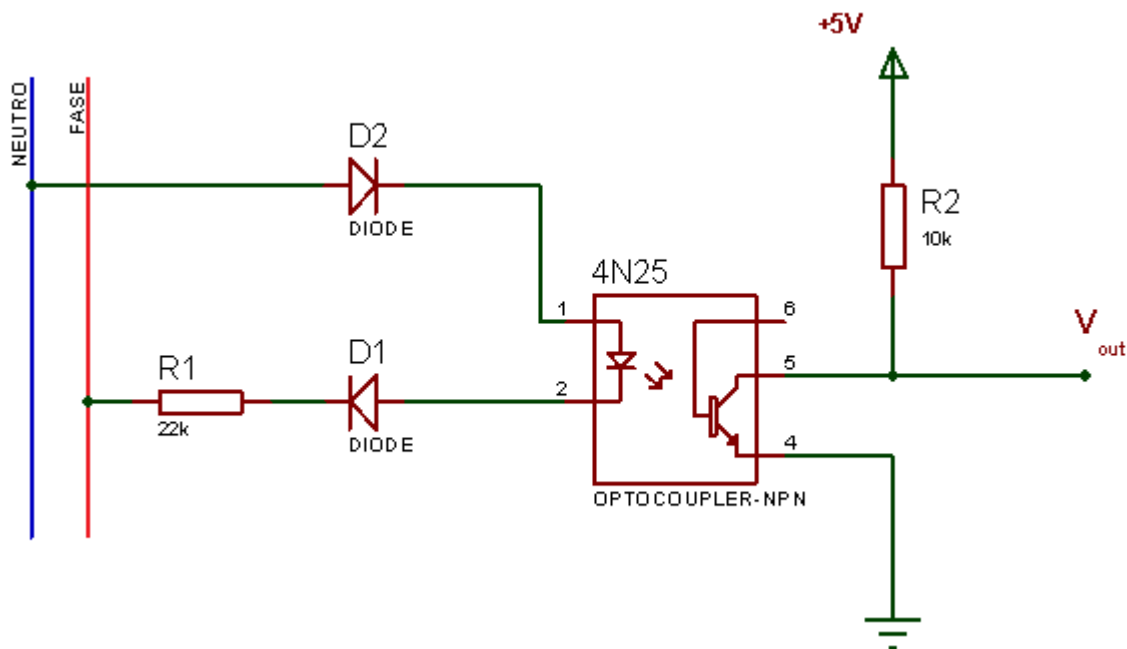


Figura 3.10: Circuito representativo da deteção da passagem pelo zero.

O díodo  $D_2$  tem a função de retificar o sinal proveniente da linha elétrica, ou seja, as arcadas negativas da onda sinusoidal correspondente passam a ter valor constante de 0V. Assim sendo, enquanto o nível do sinal é maior que zero, a resistência  $R_1$  mantém o LED do optoacoplador ligado. Sempre que o LED do optoacoplador está ligado a tensão de saída é de 0V, isto mantém o transistor interno que o 4n25 possui em saturação. Quando o nível de sinal é igual a zero, ou seja, a onda sinusoidal da linha elétrica encontra-se nas arcadas negativas, deixa de passar corrente por  $R_1$  e o LED é desligado, deste modo o transistor do optoacoplador entra em corte, resultando uma tensão de saída,  $V_{out}$ , de 5V, que corresponde à tensão fornecida pela fonte de alimentação. Nas figuras 3.11 e 3.12 estão demonstradas as ondas correspondentes à retificação de meia onda, à saída do optoacoplador e à linha elétrica.

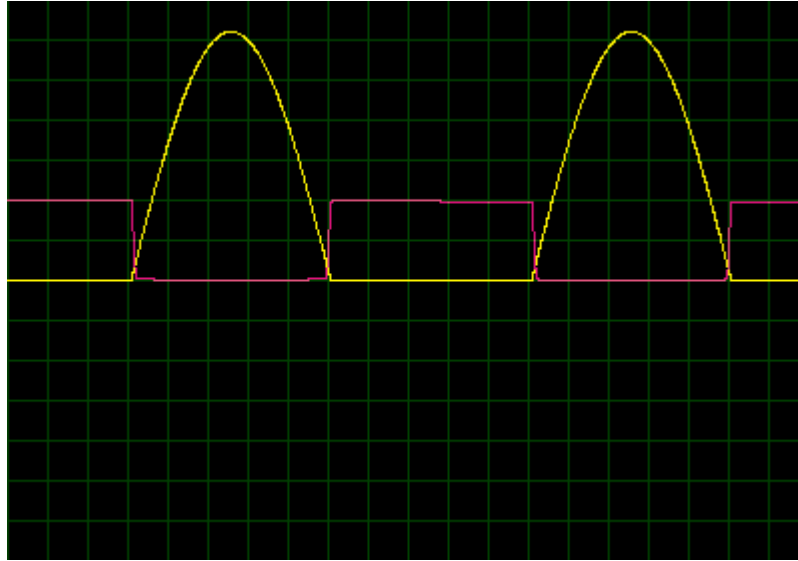


Figura 3.11: Retificação de meia onda (amarelo) e  $V_{out}$  do 4n25 (vermelho).

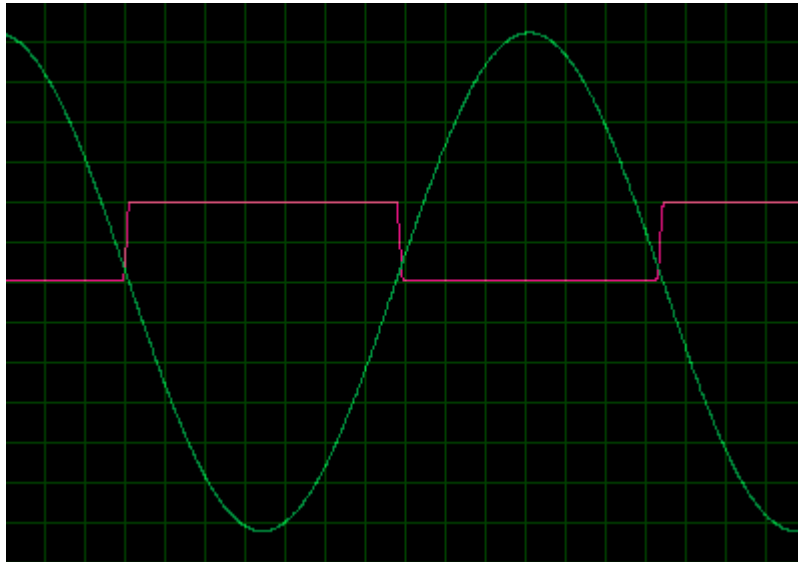


Figura 3.12: Onda da linha elétrica (verde) e  $V_{out}$  do 4n25 (vermelho).

Assim sendo, sempre que é necessária uma aquisição de sinais analógicos, esta inicia-se quando o  $V_{out}$  do optoacoplador altera de 0V para 5V. A aquisição destes sinais termina quando a tensão de saída do optoacoplador alterna novamente dos 0V para os 5V, sendo que esta pode durar mais do que um período de onda. Este  $V_{out}$  é conectado ao pino RB0 do microcontrolador e sempre que é efetuado um pedido de dados, acontece um sinal de disparo na porta RB0 do PIC18F4685 proveniente do circuito de detecção da passagem pelo zero. Deste modo é gerada uma interrupção no microcontrolador (INT0IF), onde é realizada a aquisição dos sinais analógicos pedidos.

### 3.4.5 Outros Componentes

Para além dos componentes já referidos, foram ainda utilizados outros equipamentos essenciais na evolução deste projeto, tais como:

1. Duas fontes de alimentação
2. Uma ventoinha de arrefecimento
3. Programador de PIC's ICD2 da Microchip

As fontes de alimentação utilizadas, figura 5.3a, conseguem fornecer tensões DC de 3.3V, 5V e 12V, no entanto existem pequenas variações de tensões que não nos permitem obter estes valores exatos. Sendo assim, temos aproximadamente um valor de 5.44V e 12.55V para alimentações de 5V e 12V respetivamente. Foi necessário ter estes valores em conta no desenvolvimento deste trabalho.

Uma das fontes foi utilizada na alimentação dos diversos componentes presentes neste projeto sendo que a outra foi usada para a alimentação de uma ventoinha de arrefecimento. Optou-se por utilizar duas fontes de alimentação ao invés de uma, a fim de evitar uma sobreutilização da mesma, o que poderia causar interferência na aquisição de sinais dos componentes alimentados por esta.

A ventoinha de arrefecimento, representada na figura 5.3b, foi necessária para baixar a temperatura dos transdutores de tensão e corrente utilizados nesta dissertação. Notou-se que os dados recebidos relativamente a um equipamento elétrico variavam em situações a frio e a quente, sendo que esta ventoinha veio resolver o problema.

Em relação ao programador, o MPLAB ICD2 da Microchip, foi utilizado para programar o microcontrolador. Este, também oferece a possibilidade de trabalhar em modo debug, o que foi uma mais-valia no desenvolvimento deste trabalho.

No apêndice A encontram-se figuras com os circuitos elétricos interligados com o microcontrolador.



(a) Fonte de alimentação

(b) Ventoíinha de arrefecimentos 12V

Figura 3.13: Outros componentes utilizados

## 3.5 Software e Tecnologias adotadas

Neste subcapítulo são referidos os programas utilizados no desenvolvimento deste projeto bem como as tecnologias adotadas nos mesmos. São ainda apresentadas as principais vantagens destas tecnologias.

### 3.5.1 MPLAB IDE v8.76

Neste projeto foi utilizado o MPLAB IDE da Microchip para a programação do microcontrolador [22]. O MPLAB é um programa de software destinado a desenvolver aplicações para microcontroladores fabricados pela Microchip. Este ambiente de desenvolvimento permite a edição, o *debugging* e programar o microcontrolador. Relativamente ao código fonte, este pode ser escrito em linguagem C ou em *assembly*, sendo que nesta dissertação foi utilizada a primeira. Uma das principais vantagens do MPLAB é a possibilidade de visualização dos registos da memória de programa utilizando o modo de *debug*, o que facilita o desenvolvimento do código fonte.

No que diz respeito à linguagem de programação C, esta é uma linguagem de alto nível que facilita a legibilidade do código desenvolvido devido à sua sintaxe estruturada.

### 3.5.2 Java (Web Service)

Para realizar a comunicação entre o microcontrolador e a *interface gráfica* de uma forma mais segura e dinâmica, foi desenvolvido um *Web Service* em Java. Este serviço permite,

através de vários parâmetros de entrada, uma comunicação rápida, robusta e facilitada com o microcontrolador.

Com recurso a uma conexão RS232, o serviço recebe os dados pedidos pelo utilizador, processando-os de forma a enviar posteriormente para a *interface gráfica*. Desta forma, o sistema desenvolvido disponibiliza métodos de obtenção de vários dados, como a potência, corrente e tensão instantâneas na linha.

Por outro lado, é importante garantir uma conexão segura e à prova de falhas, neste sentido, a aplicação desenvolvida é também responsável pelo controlo da conexão RS232 com o microcontrolador, permitindo assim ao utilizador uma percepção instantânea sobre o estado da sua ligação ao *hardware*.

Para a implementação da ligação foi utilizada a biblioteca JSSC (*Java Simple Serial Connector*) a qual facilita a gestão da ligação entre o serviço e o microcontrolador, oferecendo métodos de fácil utilização para configurar, receber e enviar dados através de RS232 [23].

A solução desenvolvida utiliza as tecnologias JAX-RS ([24]) e Jersey ([25]) do Java, de forma a simplificar a implementação de um serviço RESTful [26]. No que diz respeito ao desenvolvimento, foi utilizado o *software* Netbeans devido às inúmeras vantagens a nível de programação e organização de todo o projeto e à fácil e rápida adaptação ao sistema. Por outro lado, todo o projeto foi desenvolvido com recurso à ferramenta de compilação Maven, a qual simplifica por completo a definição de todo o projeto, facilitando a organização de dependências, módulos externos e até da própria compilação e produção final [27].

A dinâmica, robustez e simplicidade de implementação aliados à sua organização estrutural e expansibilidade foram algumas das razões pelas quais foi desenvolvido este serviço em Java, o qual permitiu conectar facilmente o software ao hardware desenvolvido.

### 3.5.3 MySQL (Base de Dados Relacional)

De forma a armazenar os dados de ligação dos equipamentos elétricos adicionados ao sistema, foi utilizada uma base de dados relacional. A tecnologia utilizada, MySQL, permite uma rápida implementação de estruturas de dados relacionais e uma fácil integração com uma grande diversidade de linguagens de programação [28]. Além disso, pode ser instalada em praticamente qualquer plataforma, o que, aliado ao excelente desempenho e estabilidade torna este sistema bastante competitivo e confiável.

Por conseguinte, foi então criada uma base de dados MySQL para armazenar os dados referentes à variação de potência, da magnitude da transformada de Fourier e corrente registada durante a ligação de cada um dos equipamentos elétricos assim como no momento em que estes são desligados.

Os dados armazenados na base de dados são facilmente acedidos através do *Web Service* desenvolvido. Estes são posteriormente enviados para a *interface* gráfica de forma a realizar as devidas deteções de quais os equipamentos elétricos que se encontram ligados ou desligados.

#### 3.5.4 Interface Gráfica (HTML5)

No que diz respeito à integração e apresentação dos dados adquiridos, foi desenvolvida uma *interface* gráfica de apoio ao utilizador em HTML5 ([29]) e CSS3 [30]. Assim sendo, o utilizador poderá verificar a qualquer momento todas as informações referentes aos equipamentos elétricos e ao seu consumo energético através de uma simples página acessível a partir de qualquer navegador *web*.

A escolha desta abordagem deveu-se essencialmente às potencialidades oferecidas tanto a nível de acessibilidade e portabilidade como no que diz respeito à própria implementação, visualização e desenvolvimento de algoritmos de deteção. Desta forma, todo o sistema foi desenvolvido numa perspetiva de facilitar a usabilidade do utilizador, transmitindo a informação de forma clara e transparente, proporcionando uma boa leitura e análise de todos os dados adquiridos. Foram especialmente levadas em conta as principais regras de usabilidade, permitindo assim ao utilizador uma agradável experiência de leitura, aliada a uma intuitiva disposição da informação e das funcionalidades a utilizar.

O desenvolvimento da *interface* gráfica da aplicação foi realizado com recurso à framework de *front-end* Bootstrap [31]. Esta, devido ao conjunto de *templates*, componentes e interações JavaScript que oferece, facilita fortemente o desenvolvimento de uma aplicação modular, responsiva e que traduza as necessidades do sistema desenvolvido.

#### 3.5.5 JavaScript

A representação dos dados adquiridos e a sua interação com o utilizador é também um fator importante a ter em conta. Neste sentido a linguagem de programação JavaScript ([32]), sendo executada do lado do cliente, permite utilizar funções previamente desenvolvidas com vista a interagir com o cliente, comunicar assincronamente com serviços e até alterar conteúdos da página em questão.

Desta forma, foram utilizadas diversas bibliotecas JavaScript no intuito de tornar o sistema bastante dinâmico, interativo e naturalmente funcional. Exemplo disso é a famosa biblioteca de JavaScript jQuery ([33]), a qual foi utilizada com vista a simplificar o desenvolvimento e à criação de uma solução mais robusta. Esta biblioteca, usada por mais de 65% das páginas *web* mais visitadas no mundo inteiro, torna mais simples a navegação, seleção e alteração de elementos da página assim como disponibiliza um excelente controlo de eventos e animações que convergem para o desenvolvimento de uma aplicação mais harmoniosa e interativa.

Outra vantagem da utilização de JavaScript prende-se na possibilidade de realizar chamadas assíncronas, o que permite carregar dados e páginas do servidor sem que o utilizador tenha a percepção que a página foi alterada. Neste sentido, todas as chamadas e trocas de dados feitas com o *Web Service* são realizadas através de AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*) [34], sendo que os dados recebidos, depois de processados, são devidamente apresentados na *interface* gráfica desenvolvida. A figura 3.14, retirada de [34] representa o esquema de funcionamento de uma chamada AJAX.

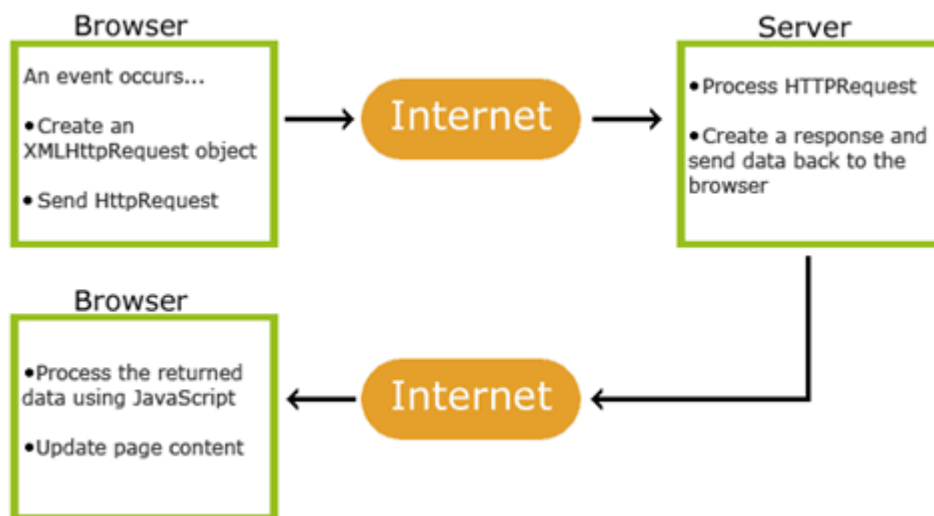


Figura 3.14: Esquema de funcionamento de uma chamada AJAX.

Por outro lado, uma representação gráfica clara e eficaz é essencial para uma boa experiência de utilização. Neste sentido, foi utilizada a biblioteca ChartJS para a criação dinâmica e em tempo real dos gráficos dos valores adquiridos, contribuindo para uma apresentação elucidativa e funcional dos dados e do sistema desenvolvido [35].

## 3.6 Sistema Conceptual do ECM

Neste subcapítulo é abordado o conceito do *Energy Consumption Monitoring* (ECM). Dele fazem parte o sistema funcional, o sistema arquitetural e o sistema de dados. Relativamente ao sistema funcional são dadas a conhecer as opções disponíveis ao utilizador. Em relação ao sistema arquitetural é explicado o funcionamento do ECM no que diz respeito à estrutura implementada. Por último, o sistema de dados descreve, como o próprio nome indica, o armazenamento de dados necessários à identificação de um equipamento elétrico.

### 3.6.1 Sistema Funcional

O *Energy Consumption Monitoring* disponibiliza várias opções ao utilizador. Aqui são apresentadas e descritas essas mesmas possibilidades. As opções dadas ao dispor do con-

sumidor estão representadas na figura 3.15.

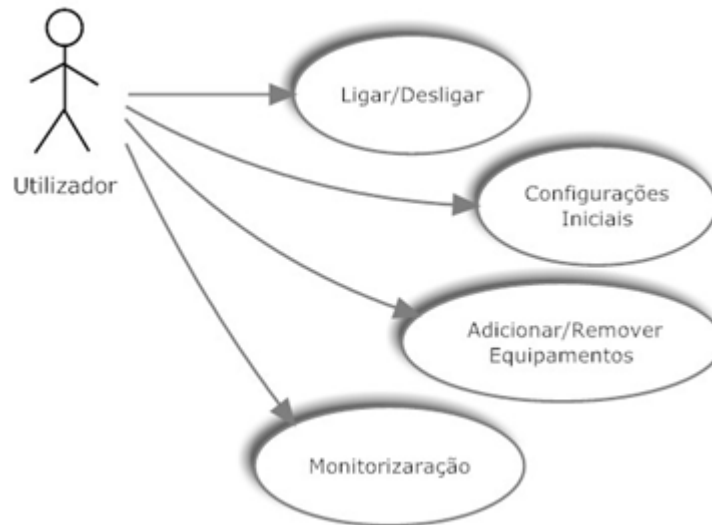


Figura 3.15: Diagrama de casos de uso do utilizador

Inicialmente o utilizador necessita de configurar o sistema consoante o contrato em utilização na sua residência, como por exemplo: potência contratada de 6.9kVA e tarifa bi-horária. As opções disponíveis neste sistema vão desde potências contratadas entre os 1.15 e os 20.7kVA, que são, na generalidade as mais utilizadas em ambientes residenciais. Relativamente às tarifas, existem as opções de tarifa simples e tarifa bi-horária, pela mesma razão anteriormente mencionada. Ainda em relação às configurações iniciais, é necessária a indicação ao sistema de qual a porta USB em utilização. Tarefa facilitada pois este sistema reconhece as portas USB conectadas, sendo apenas necessário seleccionar a porta pretendida. Este processo de configurações iniciais está representado na figura 3.16.

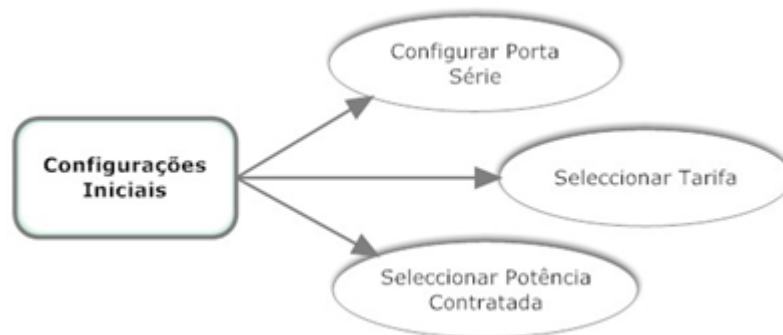


Figura 3.16: Diagrama de casos de uso relativo às configurações iniciais



Para que seja possível ao utilizador fazer uma monitorização dos consumos energéticos, primeiramente é necessário adicionar equipamentos elétricos à base de dados do sistema (figura 3.17). Este processo realiza-se seguindo três simples passos indicados pelo sistema:

1. Ligar o equipamento elétrico
2. Desligar o equipamento elétrico
3. Inserir o nome do equipamento

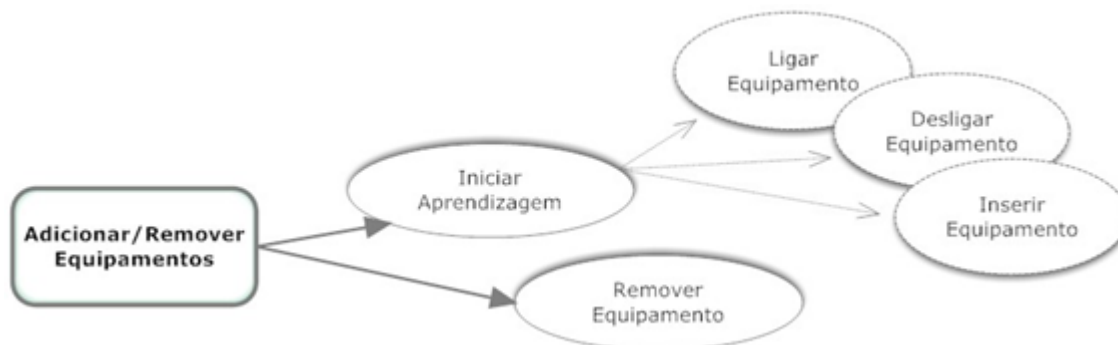


Figura 3.17: Diagrama de casos relativo ao processo de adicionar equipamentos

Através deste procedimento, o ECM consegue adquirir e gravar em base de dados as informações necessárias ao reconhecimento do equipamento elétrico. O procedimento de aprendizagem é bastante simples. Assim que iniciado, o sistema pede ao utilizador que ligue o equipamento elétrico em estudo e quando é detetada essa mudança de estado é solicitado que o desligue. Por fim e depois do sistema identificar que o dispositivo elétrico foi desligado é pedido ao consumidor que indique o nome do equipamento e o insira na base de dados. Para que esta aprendizagem funcione com o máximo rigor possível, é necessário que durante este processo, o equipamento elétrico em causa seja o único em funcionamento, de forma a que outros dispositivos não interfiram com este procedimento.

Este sistema também permite ao utilizador a remoção de um equipamento elétrico do sistema, através da seleção do mesmo na opção “Remover Equipamento”.

Depois de adicionados os dispositivos elétricos à base de dados do sistema o utilizador pode então efetuar a monitorização de consumos dos mesmos, sendo este o principal objetivo deste trabalho. Na figura 3.18, estão representadas as características que este modo de monitorização permite visualizar.

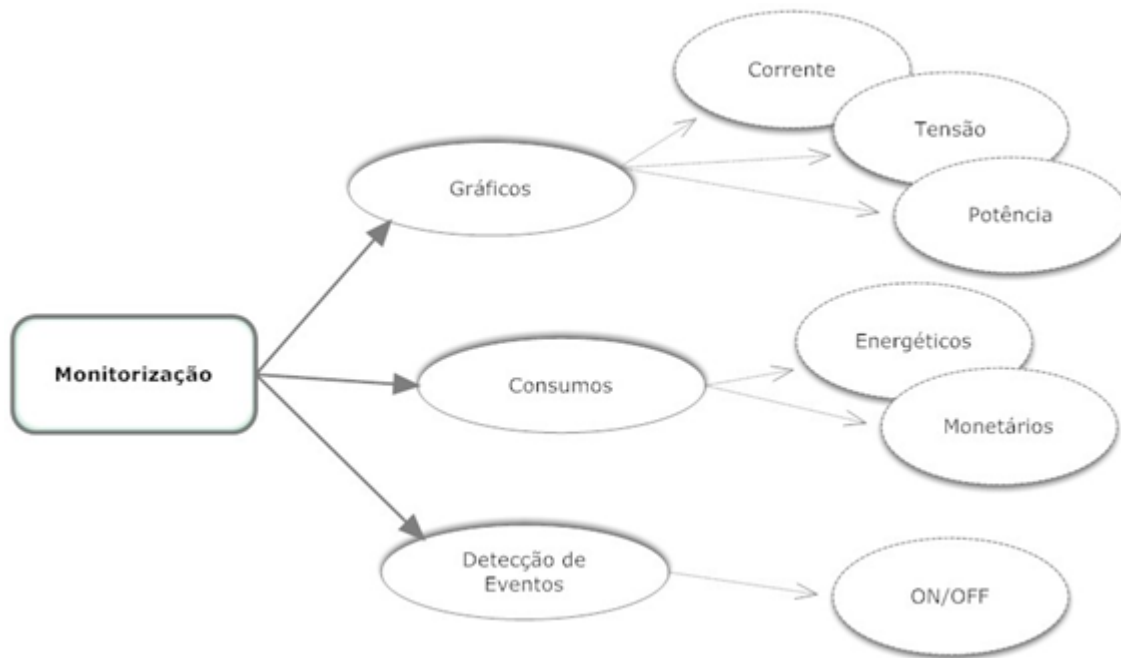


Figura 3.18: Diagrama de casos relativo ao processo de minitorização

Neste sistema, a monitorização permite ao utilizador a visualização de gráficos que representam em tempo real os eventos ocorridos. O consumidor tem acesso a gráficos de tensão, corrente e potência, bem como aos seus valores, sendo que relativamente aos dois primeiros a informação existente refere-se ao valor eficaz. Em relação aos consumos energéticos e monetários, o utilizador tem acesso aos seus valores instantâneos e totais, no entanto o valor total destes consumos aplica-se a cada utilização deste sistema e não a um somatório das vezes que o modo de monitorização é utilizado. Existe ainda a possibilidade do consumidor requisitar ao sistema uma estimativa de consumos para um determinado tempo (por exemplo 2 horas), sendo que estes consumos são calculados mediante os equipamentos em utilização nesse instante. A partir das informações gravadas na base de dados do sistema, o utilizador é capaz de visualizar a ocorrência de eventos, sendo atualizado em tempo real sobre os equipamentos elétricos que estão em funcionamento.

### 3.6.2 Sistema Arquitetural

Como dito em cima, o sistema arquitetural baseia-se na forma de funcionamento do ECM e na sua estrutura. Dividiu-se a arquitetura deste sistema em três partes distintas, representadas na figura 3.19.

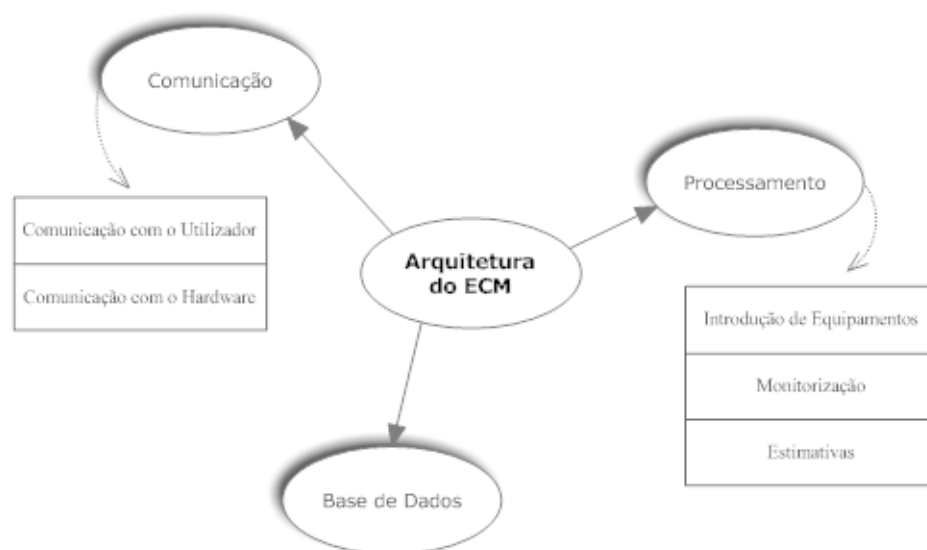


Figura 3.19: arquitetura do ECM

### Comunicação

No que diz respeito à comunicação, no ECM existem duas vertentes, ou seja, comunicação com o utilizador e comunicação com o *hardware*. Relativamente à comunicação com o utilizador, esta é realizada a partir de uma *interface* gráfica que foi projetada em HTML5, CSS3 e JavaScript, como referido em cima. Aqui o utilizador tem a capacidade de adequar as configurações do ECM ao seu contrato com o fornecedor de energia elétrica bem como a possibilidade de analisar os seus consumos energéticos e monetários. É ainda possível visualizar vários gráficos com os dados adquiridos pelo *hardware*, como por exemplo os sinais de tensão e corrente. A comunicação entre a *interface* gráfica e o *hardware* é realizada por comunicação RS232. Dependendo dos pedidos efetuados pelo utilizador, o *hardware* desenvolvido neste projeto realiza a aquisição de dados necessária à resposta dos mesmos.

### Processamento

Quanto ao processamento, fazem parte três parâmetros: introdução de equipamentos, monitorização e estimativas. Relativamente aos dois primeiros, existe um processamento de dados aquando uma aquisição dos mesmos, ou seja, sempre que é efetuado um pedido pelo utilizador, o *hardware* trata da aquisição de dados, sendo que estes antes de serem apresentados na *interface* gráfica são tratados de forma a corresponderem ao pedido efetuado. Da mesma forma, o cálculo de estimativas é efetuado por meio de operações aritméticas entre os dados adquiridos já tratados e o valor temporal indicado pelo utilizador.

### Base de Dados

Em relação à base de dados, esta fica com o encargo de memorizar toda a informação necessária à identificação de estados dos equipamentos elétricos. Estes dados são obtidos através da adição de equipamentos explicada em cima. Como dito anteriormente é ainda

possível remover um dispositivo elétrico caso necessário. Relativamente às informações armazenadas, estas são explicadas no tópico seguinte.

Concluindo, a arquitetura do ECM é constituída por três categorias distintas, todas elas fundamentais no bom funcionamento deste sistema, sendo possível perceber que a comunicação está no centro desta arquitetura mas não funcionaria sem o recurso ao processamento e à base de dados (figura 3.20).



Figura 3.20: Base do funcionamento da arquitetura do ECM

### 3.6.3 Sistema de Dados

O sistema de dados do ECM baseia-se no armazenamento de informações essenciais para a deteção de eventos quando este se encontra no modo de funcionamento de monitorização. Estas informações são adicionadas à base de dados quando se faz a adição de um equipamento ao ECM que, assim que terminada, armazena cinco parâmetros relativos ao comportamento do equipamento elétrico em causa. Como dito anteriormente, o funcionamento da aprendizagem de um dispositivo começa pela ligação do mesmo assim que o sistema o requer. Quando o sistema deteta a ligação desse dispositivo são adicionadas à base de dados três características do comportamento desse equipamento: a diferença da potência instantânea, a diferença da magnitude da transformada de Fourier e a corrente eficaz consumida. Os cálculos das diferenças de potencial e de magnitude são realizados entre o momento em que se ligou o dispositivo e o momento que o antecedeu. Depois de detetada a ligação do equipamento, o sistema informa o utilizador para desligar esse dispositivo. Identificada essa mudança de estado, o sistema adiciona mais duas características do seu funcionamento à base de dados, sendo elas novamente as diferenças de potência instantânea e de magnitude da transformada de Fourier, que foram calculadas da mesma forma que as anteriores. Por fim o utilizador introduz o nome do equipamento a adicionar e insere-o na base de dados. Através destas características comportamentais é possível ao ECM fazer a identificação dos dispositivos elétricos presentes na base de dados do sistema.

Nestes tópicos foi abordado o sistema conceptual do ECM que é composto por três

---

níveis: sistema funcional, sistema arquitetural e o sistema de dados. Conseguiu-se perceber a interligação entre estes e que o sistema arquitetural funciona como o esqueleto deste projeto, o sistema de dados é a base e o sistema funcional traduz-se na interação com o utilizador.



## Capítulo 4

# Implementação do ECM

Após a abordagem do sistema conceptual do ECM, segue-se a implementação do mesmo. Aqui são explicadas em detalhe as várias tarefas realizadas pelo sistema implementado.

### 4.1 Calibração dos Dados Adquiridos

Uma vez que os valores adquiridos pelo *hardware* não são valores de corrente nem valores de tensão, houve a necessidade de os converter para as respectivas unidades através de uma calibração. Para isso, utilizou-se como referência um equipamento elétrico, neste caso um secador, com valores eficazes de corrente e de tensão conhecidos ( $I=4.05A$  e  $V=225.17V$ ). Assim sendo, foi possível efetuar uma calibração implementada em JavaScript. Primeiramente, ligou-se o equipamento elétrico referência e solicitou-se uma aquisição de dados ao *hardware*. Depois do microcontrolador converter os dados adquiridos pelos transdutores de corrente e tensão numa sequência binária (digital) proporcional aos sinais de entrada (analógicos), foi necessário proceder a uma análise dos resultados obtidos de forma a criar uma relação entre os mesmos e os valores referência do secador. Sabendo que os resultados obtidos pelo PIC são proporcionais aos valores de tensão e corrente, é de fácil interpretação que se obtiveram duas ondas sinusoidais. Consequentemente precisou-se de calcular os valores de pico de corrente e tensão a partir de 4.1 e 4.2.

$$V_p = V_{ef} \cdot \sqrt{2} \quad (4.1)$$

$$I_p = I_{ef} \cdot \sqrt{2} \quad (4.2)$$

Através da análise dos valores obtidos pelo microcontrolador, verificou-se que para a corrente de pico conhecida tinha-se o valor de 555 para o nível máximo e 378 para o mínimo. Logo, conclui-se que o número de níveis pico a pico é 177. Assim sendo e multiplicando o valor de corrente de pico por dois, tem-se 11,45A entre o valor máximo e mínimo. Sendo  $D_{I_{max}}$  o nível máximo do resultado da conversão efetuada pelo microcontrolador e  $D_{I_{min}}$  o valor mínimo, pode-se então calibrar o sistema da seguinte maneira:

$$CC = \frac{I_{p-p}}{D_{I_{max}} - D_{I_{min}}} \quad (4.3)$$

Disto, resultou então que cada nível obtido pela ADC do microcontrolador correspondente aos sinais de corrente equivale a 0.064689A, como se pode ver no gráfico representado no figura 4.1.

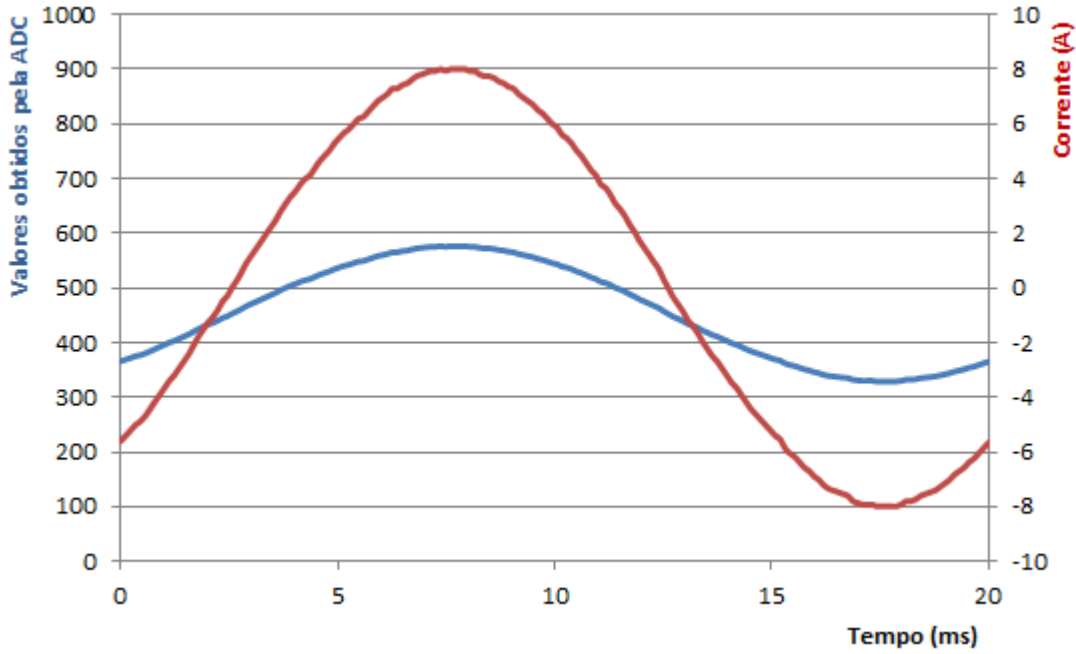


Figura 4.1: Relação entre a corrente e os resultados obtidos pela ADC

Relativamente à calibração dos sinais de tensão, seguiu-se o mesmo raciocínio explicado em cima. Após uma análise aos resultados obtidos pela ADC do microcontrolador correspondente aos sinais de tensão, verificou-se que para a tensão de pico conhecida tinha-se o valor de 655 para o nível máximo e 285 para o mínimo. Daí resultou que o número de níveis pico a pico é de 370. De seguida foi calculado  $V_{p-p}$ , que por outras palavras é a multiplicação de  $V_p$  por dois, de onde resultou que a tensão de pico a pico foi de aproximadamente 639V. A partir daqui foi então possível calibrar o sistema utilizando 4.4.

$$CV = \frac{V_{p-p}}{D_{V_{max}} - D_{V_{min}}} \quad (4.4)$$

De onde resultou que cada nível obtido pela ADC do microcontrolador correspondente aos sinais de tensão equivale a 1.72763V, como se pode verificar pelo gráfico 4.2.



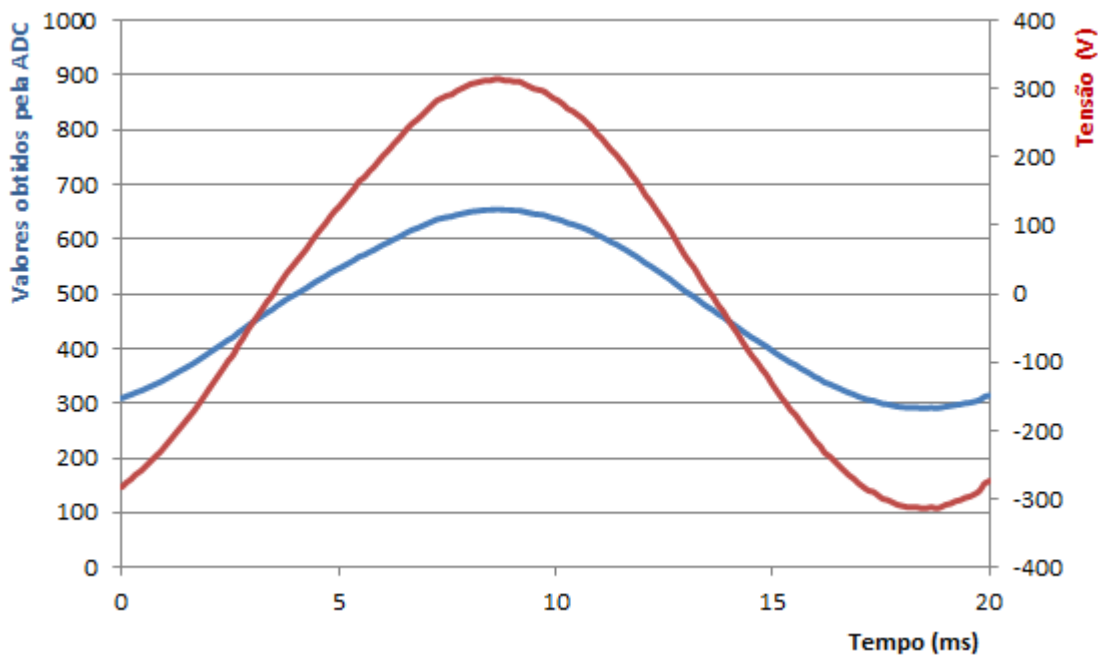


Figura 4.2: Relação entre a tensão e os resultados obtidos pela ADC

Comparando os resultados desta calibração, nota-se que os valores de corrente são mais precisos que os valores de tensão, no entanto isto não é um fator significativo pois os sinais de tensão na linha elétrica não variam da mesma forma que os sinais de corrente.

Depois desta calibração de valores, foi necessário verificar a fiabilidade dos mesmos para outros sinais de corrente. Para isso, foram efetuadas várias medições e aquisições de dados com diferentes equipamentos elétricos, sendo sempre conhecidos os seus valores eficazes de corrente. A partir dos resultados obtidos nestas medições verificou-se que nem sempre existe uma linearidade, devido ao fato do sensor de corrente ser alimentado a 5V em vez de 8V. De forma a resolver este problema, a solução encontrada e implementada foi a utilização de uma linha de tendência nos resultados obtidos destas medições. Utilizando as capacidades gráficas e ferramentas de cálculo do programa Microsoft Office Excel, criou-se um gráfico que permitiu a visualização dos resultados obtidos. Na tabela 4.1, apresentada em baixo, encontram-se os valores que serviram como base na obtenção da linha de tendência.

|                                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>I<sub>p</sub> Real (A)</b>   | 0,47 | 0,97 | 1,13 | 1,57 | 3,17 | 5,04 | 5,64 | 5,76 | 6,04 | 6,12 |
| <b>I<sub>p</sub> Obtido (A)</b> | 0,57 | 1,07 | 1,24 | 1,64 | 3,05 | 5,07 | 5,63 | 5,75 | 5,84 | 5,95 |

|      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6,73 | 9,01 | 9,94 | 10,59 | 11,17 | 12,01 | 14,5  | 15,88 | 18,61 | 18,81 | 19,23 | 19,66 |
| 6,6  | 8,84 | 9,7  | 10,38 | 10,78 | 11,65 | 14,13 | 15,2  | 16,48 | 16,45 | 16,74 | 17,31 |

Tabela 4.1: Corrente de pico real vs Corrente de pico obtida.

No eixo dos  $xx$  encontram-se os valores reais de corrente, ou seja, os conhecidos, enquanto que no eixo dos  $yy$  estão os valores resultantes dos testes efetuados, como apresenta o gráfico da figura 4.3.

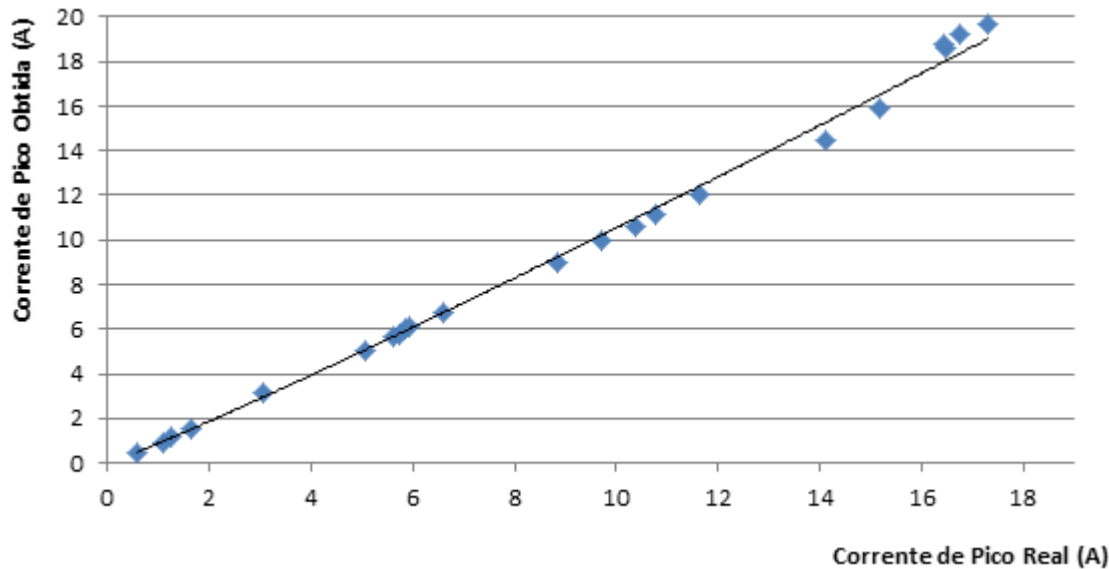


Figura 4.3: Linha de tendência relativa aos testes de corrente efetuados

Relativamente à linha de tendência, foram testadas duas formas, uma regressão linear e uma regressão potencial. Através da análise dos resultados obtidos chegou-se à conclusão que os valores eram mais precisos com a utilização da regressão potencial, sendo que a sua equação é a seguinte:

$$y = 0,8888.x^{1,0741} \quad (4.5)$$

Com um coeficiente de determinação,  $R^2$ , de 0.99 esta foi a melhor solução encontrada na resolução deste problema.

A implementação desta regressão potencial foi efetuada nos valores já convertidos em unidades de amperes através da calibração realizada anteriormente. Por exemplo, para um valor de 4A, resultante da calibração, é ainda necessário proceder a um novo cálculo com base na regressão potencial definida. Sendo assim o valor final será de 3.94A, calculado a partir de 4.5, onde  $x=4$ .

Este método não foi aplicado nos valores de tensão, pois a calibração efetuada anteriormente serviu perfeitamente para os resultados desejados, dado que o valor eficaz da mesma anda sempre à volta dos 230V, enquanto que os valores de corrente podem variar, geralmente, entre os 0 e os 16A eficazes.

Posto isto, para que os sinais analógicos adquiridos pelo microcontrolador sejam transformados em ondas sinusoidais de corrente e tensão, primeiramente o ECM deteta os níveis máximo e mínimo dos sinais digitais enviados pelo microcontrolador e calcula o valor médio entre eles, que corresponderá à linha de zero. Por exemplo, se os níveis máximo e mínimo corresponderem aos valores de 600 e 400, respetivamente, a linha de zero estaria situada no nível 500. Depois disto são então realizadas as calibrações dos valores para as unidades correspondentes, ou seja, recorrendo ao exemplo anteriormente dado, para os níveis entre 500 e 600 encontram-se os valores da arcada positiva e para os níveis entre 500 e 400 encontram-se os valores da arcada negativa. É ainda de realçar que as calibrações não são efetuadas nos níveis recebidos, mas sim entre a diferença do nível máximo com o nível médio e do nível mínimo com o nível médio.

Através disto e depois dos dados adquiridos se encontrarem nas unidades de volts e amperes, é então possível proceder ao cálculo da potência ativa a partir da equação 4.6.

$$P_A = V_{ef}.I_{ef}.\cos(\theta) \quad (4.6)$$

Onde  $\theta$  é o ângulo de fase entre a onda da tensão e a onda da corrente. Este é calculado entre a diferença dos índices correspondentes aos valores máximos de cada onda nos respectivos *arrays*.

A partir disto, o ECM tem todas as condições disponíveis para a realização dos cálculos necessários a corresponder às necessidades do utilizador.

## 4.2 Configurações Iniciais

Como referido em cima, inicialmente o utilizador necessita de configurar o ECM de acordo com as características do seu contrato com o fornecedor de energia. O ECM disponibiliza potências contratadas de 1.15kVA até 20.7kVA e no que diz respeito às opções de tarifas o utilizador tem a possibilidade de escolher entre a tarifa simples e a tarifa bi-horária. O *Energy Consumption Monitoring* utiliza como referência nos cálculos dos consumos monetários os preços impostos pela EDP (Energias De Portugal)[10], como representa a figura 4.4.

| Encargos de potência              | kVA   | EUR/mês | EUR/dia* |
|-----------------------------------|-------|---------|----------|
| Simples                           | 1,15  | 2,36    | 0,0776   |
|                                   | 2,30  | 4,14    | 0,1362   |
| Simples, bi-horária e tri-horária | 3,45  | 5,61    | 0,1844   |
|                                   | 4,60  | 7,32    | 0,2407   |
|                                   | 5,75  | 9,00    | 0,2959   |
|                                   | 6,90  | 10,68   | 0,3510   |
| Simples, bi-horária e tri-horária | 10,35 | 15,71   | 0,5165   |
|                                   | 13,80 | 20,75   | 0,6821   |
|                                   | 17,25 | 25,78   | 0,8476   |
|                                   | 20,70 | 30,81   | 1,0131   |

| Preço da energia ativa | Período horário     | até<br>6,90 kVA<br>EUR/kWh | acima<br>6,90 kVA<br>EUR/kWh |
|------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------|
| Simples $\leq 2,3$ kVA |                     | 0,1210                     | -                            |
| Simples $> 2,3$ kVA    |                     | 0,1405                     | 0,1418                       |
| Bi-horária             | Horas fora de vazio | 0,1641                     | 0,1674                       |
|                        | Horas de vazio      | 0,0870                     | 0,0878                       |

Figura 4.4: Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTN [10].

Relativamente à configuração da porta USB em utilização, foi implementada uma função, que basicamente funciona como um *auto detect* das portas em utilização nesse instante no computador, onde o utilizador apenas precisa de selecionar qual das entradas USB em utilização corresponde à transmissão de dados entre o ECM e o *hardware* [23].

### 4.3 Adicionar Equipamentos

Completada a parte das configurações iniciais, segue-se a adição de equipamentos elétricos ao sistema. Este menu tem como objetivo adicionar equipamentos à base de dados do ECM para que depois seja possível identificar o estado desse dispositivo no modo de monitorização. Como visto em cima, para que o utilizador adicione um equipamento, é fundamental que não se encontre mais nada ligado nesse instante. Assim não existe o risco do utilizador inserir informações menos corretas à base de dados, que poderiam interferir com a deteção de eventos durante a monitorização. A partir do momento em que se inicia o estudo de um equipamento elétrico a adicionar, o ECM envia um pedido de dados ao microcontrolador. Este converte os sinais analógicos recebidos pelos transdutores de tensão e corrente em sinais digitais e transmite-os ao ECM. Os sinais são enviados de três em três períodos, sendo que cada período contém 178 amostras. Assim que o sistema recebe este pacote de dados, é efetuada a conversão de cada *array* em unidades de amperes e volts através da calibração em cima explicada. Depois destas operações aritméticas, o ECM realiza os cálculos da potência ativa para cada período e assim que terminados transmite-os ao utilizador através de um gráfico interativo em função do tempo. Este processo é sempre repetido até que o utilizador insira o equipamento na base de dados do

ECM. Posto isto, é pedido ao consumidor que ligue o equipamento elétrico a adicionar ao sistema. O *Energy Consumption Monitoring* só assume dispositivos com um consumo igual ou superior a 30 Watts, isto porque não é fundamental estar a informar o utilizador sobre os consumos de equipamentos com potências inferiores à referida. Assim sendo, depois do dispositivo elétrico se encontrar ligado o sistema deteta que aconteceu uma variação de potência superior a 30W e envia para a base de dados três informações relativas ao equipamento em questão, a variação potencial entre a mudança de estados, a variação da magnitude da transformada de Fourier também entre a mudança de estados e o valor da corrente eficaz consumida pelo dispositivo elétrico. Relativamente ao cálculo da diferença de potencial e da variação de magnitude, estes são realizados entre o último dos três períodos recebidos e o último dos três períodos anteriormente adquiridos. Na figura 4.5, apresentada em baixo, é mais fácil de perceber o funcionamento deste processo.

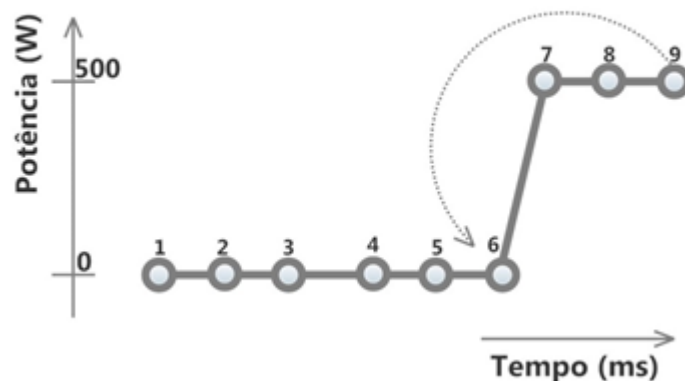


Figura 4.5: Esquema do cálculo da variação de potência ativa numa transição OFF/ON

Como dito em cima, os dados que o ECM recebe vindos do microcontrolador correspondem a três períodos de onda. Assim sendo, são apresentados três valores de potência de cada vez, cada um deles correspondente a um período de onda, ou seja, analisando a figura 4.5, o ECM primeiramente disponibilizou para visualização os valores dos pontos 1, 2 e 3, de seguida os pontos 4, 5 e 6, continuando com o mesmo procedimento até que o utilizador dê por terminada a adição do equipamento elétrico. Em relação aos cálculos das variações de potencial e de magnitude da transformada de Fourier efetuados pelo sistema, estes são realizados entre os pontos 9 e 6. Houve a necessidade de se proceder desta maneira, pois caso se tivesse efetuado os cálculos entre os pontos 7 e 6 corria-se o risco do ponto número 7 se situar a meio desta mudança de estado, como mostra a figura 4.6, o que originaria uma aprendizagem incorreta relativamente ao dispositivo elétrico em questão.

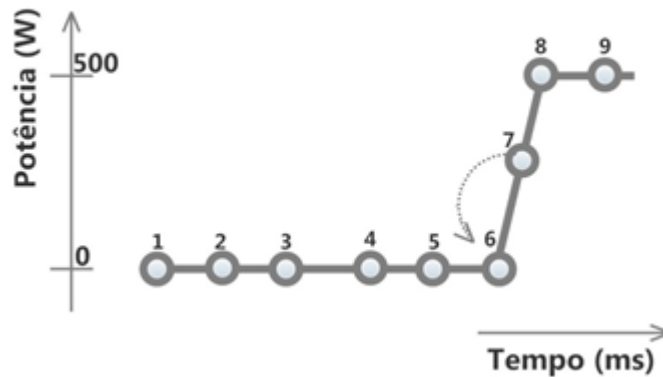


Figura 4.6: Esquema do cálculo errado da variação de potência ativa

Relativamente à corrente eficaz consumida pelo dispositivo elétrico, esta é calculada através do terceiro período de onda recebido, ou seja, o último dos três períodos recebidos após a deteção da mudança de estado do equipamento em estudo.

Depois destas informações terem sido armazenadas na base de dados do ECM, é transmitida ao utilizador uma mensagem pedindo que desligue o equipamento elétrico a adicionar. Assim que é identificada essa mudança de estado, superior a 30W, o sistema envia e armazena em base de dados duas novas informações, a variação de potência e a variação da magnitude da transformada de Fourier, ambas com valor negativo. O cálculo destas duas novas informações segue o mesmo procedimento que o anteriormente explicado, sendo que a única diferença é tratar-se de uma mudança de estado diferente, ou seja, de ON para OFF. Na figura 4.7, representada em baixo é possível perceber o funcionamento deste processo.

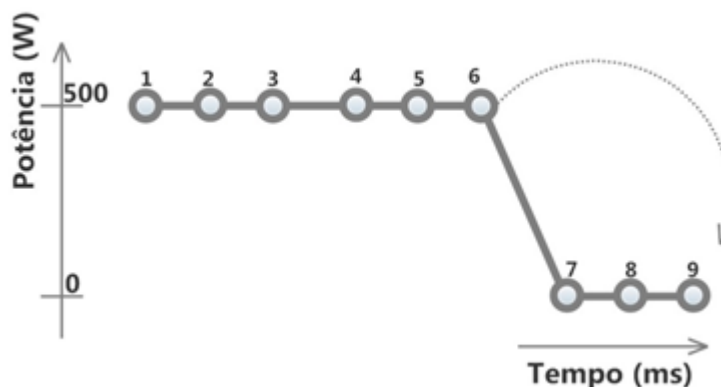


Figura 4.7: Esquema do cálculo da variação de potência ativa numa transição ON/OFF

Terminada esta parte, é apresentada ao utilizador uma caixa de texto para dar um nome ao equipamento que adicionou (por exemplo torradeira). Depois disto, o consumidor só tem que clicar no botão “Insert” e o dispositivo elétrico em questão fica disponível

para monitorização. Na figura 4.8, está representado um diagrama de fluxo referente à adição de equipamentos ao ECM. Sempre que o utilizador quiser monitorizar um novo equipamento é necessário efetuar este procedimento para que todas as informações sobre o mesmo fiquem guardadas na base de dados do ECM.

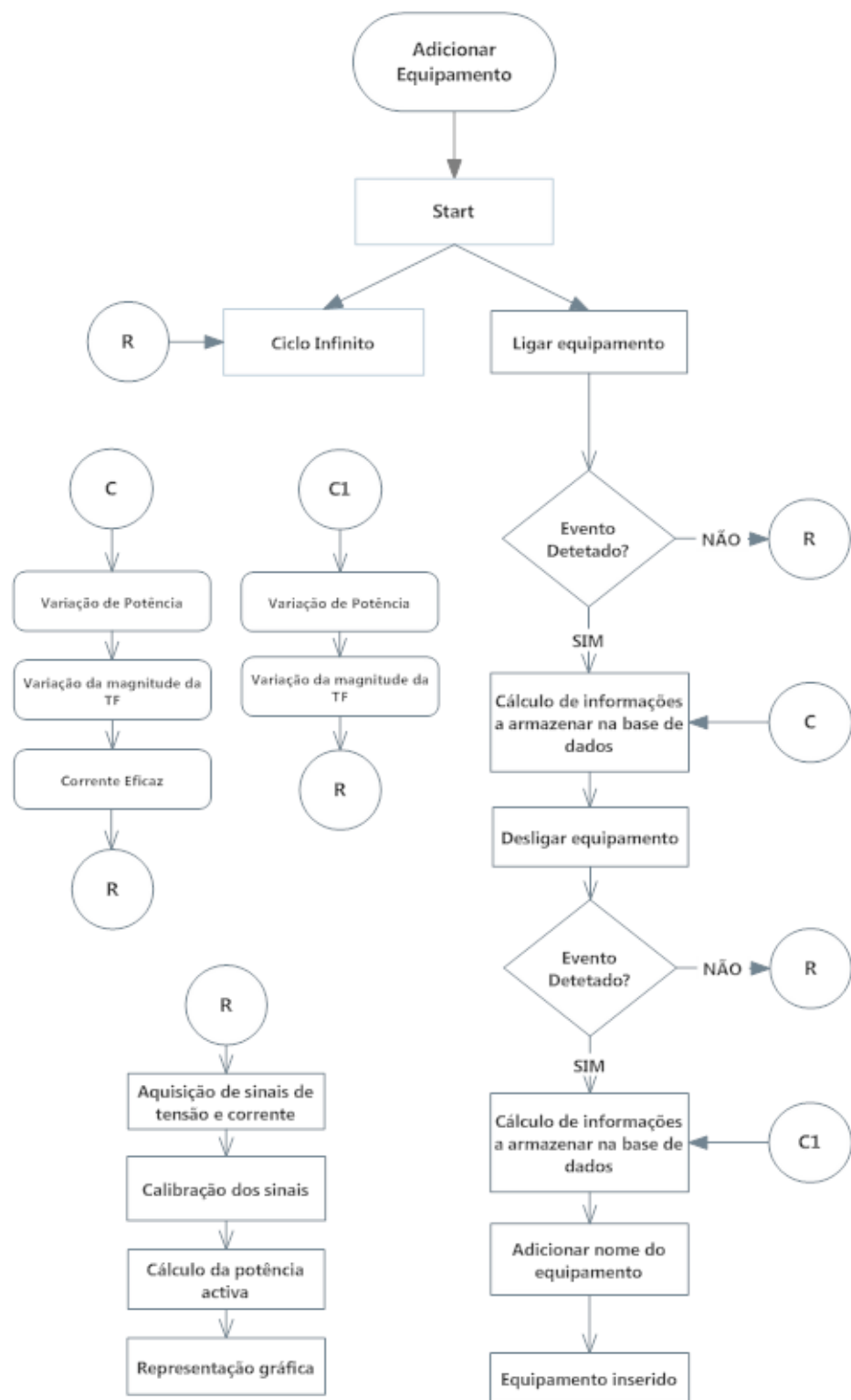


Figura 4.8: Diagrama de fluxo referente ao processo de adicionar equipamentos



## 4.4 Monitorização

Partindo agora para a implementação do modo de funcionamento da monitorização, esta começou por ser pensada consoante as necessidades do utilizador. Era necessária a informação de qual/quais os equipamentos que se encontram em funcionamento, os consumos energéticos, a visualização de gráficos dos sinais de corrente e tensão e ainda a possibilidade do consumidor calcular estimativas de consumos.

Começando pelos gráficos dos sinais de corrente e tensão, no menu de monitorização foi implementado um separador onde o utilizador tem a possibilidade de analisar estes sinais. Para que estas representações gráficas estejam disponíveis para visualização, o utilizador precisa de clicar num botão de atualização para que as ondas instantâneas de corrente e tensão sejam substituídas pelas antigas. O ECM disponibiliza dois períodos de onda de cada vez, que correspondem a 40ms (20ms por período de onda) e a 356 amostras (178 por período de onda). Quando o utilizador pretende esta visualização, o sistema envia para o microcontrolador um pedido de dados, que são posteriormente adquiridos pelos transdutores de tensão e corrente e seguidamente convertidos em sinais digitais pelas respetivas ADC's. No fim disto, estes sinais são então transmitidos para o ECM por RS232, que se encarrega de os calibrar para unidades de amperes e volts. No fim deste processo, o ECM possui condições para representar graficamente as ondas dos sinais de corrente e de tensão. Sempre que o utilizador quiser atualizar estes valores, basta clicar novamente no botão de atualizar e este processo é repetido mais uma vez.

Depois disto, foi criado um novo separador no menu de monitorização denominado “*Status*”. Aqui o utilizador tem acesso às informações sobre qual/quais os equipamentos que estão ligados ou desligados, os consumos energéticos e monetários e ao cálculo de estimativas. Assim que o utilizador inicia a monitorização, o ECM envia para o microcontrolador um pedido de aquisição dos sinais provenientes dos transdutores de corrente e tensão, que depois de convertidos pelas respetivas ADC's são transmitidos para o sistema por porta série. Assim que o ECM recebe estes sinais procede-se à calibração dos mesmos para as respetivas unidades, com o objetivo de efetuar o cálculo da potência ativa para cada período de onda. Os sinais recebidos pelo sistema correspondem a três períodos de onda, ou seja, um total de 534 amostras em 60ms. Este procedimento é realizado repetidamente até que o utilizador dê por terminada a monitorização dos equipamentos elétricos. Foi inserido um gráfico da potência ativa em função do tempo neste separador para ajudar o utilizador a perceber o que está a acontecer na sua linha elétrica. A representação dos valores de potência ativa neste gráfico comporta-se da mesma forma que o gráfico implementado no menu da adição de equipamentos.

Em relação à deteção dos dispositivos elétricos em funcionamento, esta foi implementada tendo como base as informações adquiridas pelo ECM quando se procedeu à aprendizagem dos mesmos, dando maior relevância aos valores de potência ativa armazenados. Sempre que o sistema deteta uma variação da PA (Potência Ativa) positiva, igual ou superior a 30W, o ECM realiza os cálculos da diferença de potencial, da variação da magnitude da transformada de Fourier e do valor da corrente eficaz consumida. A partir daqui, o ECM começa por realizar uma busca na base de dados com o objetivo de identificar algum equipamento elétrico que corresponda à variação de potencial ocorrida.

Caso o ECM não consiga identificar nenhum equipamento elétrico através dos valores de potência ativa, o sistema recorre à variação da magnitude da TF, no entanto, se a partir destas características não resultar uma identificação, o ECM analisa ainda os valores de corrente eficaz armazenados na base de dados. Quando uma identificação é realizada com sucesso, o utilizador é informado, através de uma janela implementada com a lista dos equipamentos inseridos na base de dados, de que o dispositivo elétrico em questão foi ligado (ON). No caso de o ECM não identificar qualquer equipamento a partir das características referidas em cima, o consumidor é informado através de uma mensagem que o equipamento em causa não se encontra inserido na base de dados.

Como existem pequenas variações nos sinais de corrente e tensão, foi necessário implementar uma margem de erro aos valores armazenados na base de dados do sistema. Assim sendo, para os valores de potência ativa definiu-se uma margem de  $\pm 2.5\%$ , com um valor mínimo de  $\pm 5W$ . Por exemplo, um equipamento que esteja armazenado na base de dados com uma potência ativa de  $800W$  possui uma margem de erro de  $\pm 20W$ . Seguindo o mesmo procedimento, a margem de erro adaptada aos valores de magnitude da TF foi também de  $\pm 2.5\%$ , mas com um valor de margem mínimo de  $\pm 2,5$ . Em relação à corrente optou-se também por uma margem de erro de  $\pm 2.5\%$  mas com um mínimo de  $\pm 0.1A$ .

Por outro lado, sempre que o ECM deteta uma variação de potencial negativa, igual ou inferior a  $-30W$ , o procedimento de identificação é bastante idêntico ao referido em cima. Basicamente o que difere um do outro é o facto dos valores da variação de PA e da magnitude da TF, que foram calculados aquando a deteção da diferença de potencial, possuírem sinal negativo. Assim que o ECM identifica o evento ocorrido, o utilizador é informado na janela de equipamentos de que o dispositivo elétrico em causa foi desligado (OFF).

Em relação à apresentação dos consumos, o utilizador tem acesso ao valor do consumo energético instantâneo em kWh, à potência total consumida em kW e aos custos monetários totais. Relativamente ao cálculo do consumo energético instantâneo este foi realizado a partir da equação 4.7, onde PA corresponde à potência ativa e  $\Delta t$  ao intervalo temporal entre cada cálculo.

$$C_{inst} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{P_A}{(3600 \times 1000)} \cdot \Delta t \quad (4.7)$$

No que diz respeito ao cálculo dos custos monetários totais, este é efetuado consoante as configurações iniciais selecionadas pelo utilizador relativamente à potência contratada e à tarifa em vigor. Estes valores são calculados através da equação 4.8.

$$Custos_{totais}(\text{€}) = \sum_{i=1}^{\infty} C_{inst} \cdot \text{€/kWh} \quad (4.8)$$

Onde €/kWh é o valor imposto pela EDP consoante a tarifa.

É ainda possível calcular estimativas de consumos para um intervalo de tempo, onde o utilizador só necessita de inserir o tempo desejado e o ECM informa-o quais os respetivos custos monetários consoante o consumo energético instantâneo desse momento. Por outro lado, no separador “*Estimates*”, o utilizador tem a possibilidade de pedir ao ECM uma estimativa dos consumos energéticos e monetários para os equipamentos elétricos desejados, ou seja, mediante a lista de dispositivos adicionados à base de dados, o utilizador seleciona os desejados (por exemplo um aquecedor elétrico e uma tostadeira) e coloca numa caixa de texto disponível o intervalo temporal pretendido, sendo que o ECM o informa com uma estimativa dos valores energéticos e custos monetários. Estas previsões são calculadas a partir dos valores de potência ativa armazenados em base de dados aquando da adição de equipamentos.

Por fim, na figura 4.9 está representado um diagrama de fluxo do processo de funcionamento da monitorização.

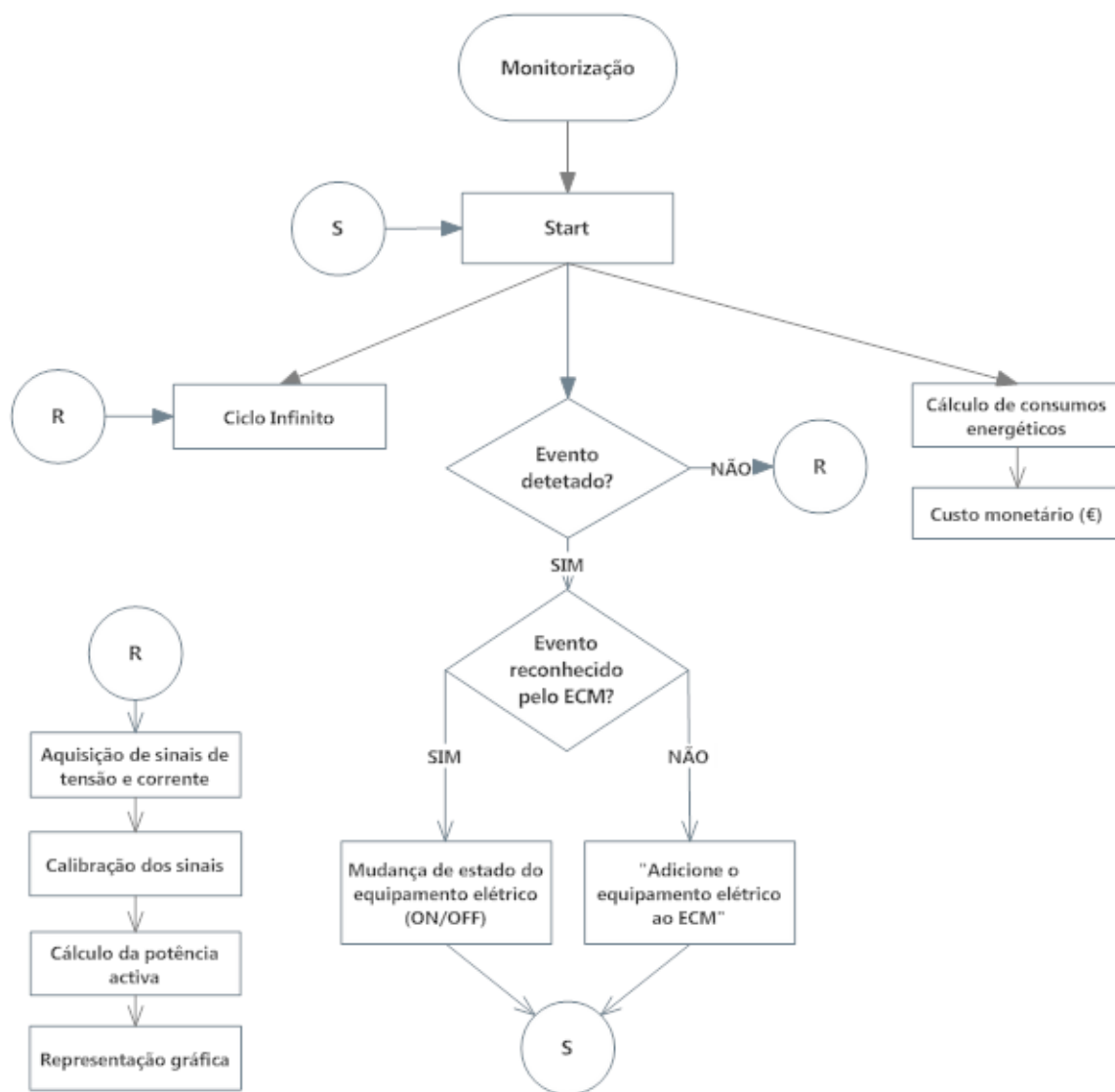


Figura 4.9: Diagrama de fluxo referente ao processo de monitorização

## Capítulo 5

# Resultados Experimentais

Neste capítulo são apresentados os ensaios experimentais efetuados ao ECM com o objectivo de os analisar para que se possam tirar conclusões sobre a eficácia deste sistema. Para que se pudessem comparar os valores obtidos com os valores reais, foi utilizado um medidor de energia da CHACON com o modelo EcoWatt 550 [36]. Este consegue medir valores eficazes de corrente até 16A.

### 5.1 Erros de Medição

Antes de se começarem os testes experimentais relativos à adição e monitorização de equipamentos, foram realizadas várias medições de forma a serem determinados os erros de medição relativos à tensão eficaz, corrente eficaz e potência ativa. A figura 5.1, representada em baixo, representa o modo de visualização dos valores de tensão e corrente eficazes obtidos no ECM.

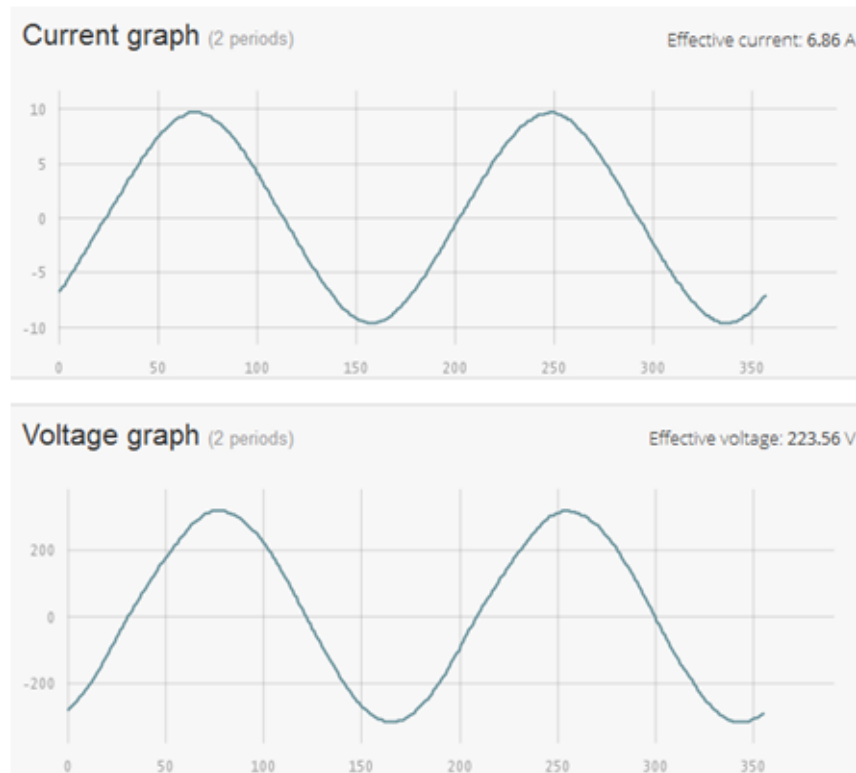


Figura 5.1: Obtenção dos valores eficazes de tensão e corrente no ECM

A tabela 5.1 apresenta os valores eficazes de tensão obtidos no medidor de energia e no ECM, bem como os seus respectivos erros. A partir da análise desta tabela é possível verificar que os erros associados a estas medições são bastante aceitáveis, sendo sempre inferiores a 1% excepto no primeiro ensaio. Nesse ensaio submeteu-se o ECM a uma potência elevada, o que como se vai verificar mais em baixo constitui uma dificuldade na precisão dos valores obtidos.

| $V_{ef}(V)$ |        | Erros de Medição (%) |
|-------------|--------|----------------------|
| EcoWatt 550 | ECM    |                      |
| 217.4       | 221.10 | 1.70                 |
| 223         | 223.56 | 0.25                 |
| 225.1       | 226    | 0.40                 |
| 228.80      | 227.22 | 0.25                 |
| 229.4       | 227.22 | 0.95                 |

Tabela 5.1: Erros de medição dos valores de tensão

Para detetar os erros de medição associados aos valores de corrente eficaz obtidos, realizou-se o procedimento utilizado em cima. Na tabela 5.2, estão representados os valores obtidos pelas medições do medidor de energia e pelo ECM. Observando os resultados apresentados na tabela 5.2 verifica-se que para correntes até aproximadamente 12A, os valores obtidos possuem um erro de medição bastante reduzido. No entanto, não se pode olhar para o erro do primeiro ensaio como um erro de medição elevado, pois a

diferença entre a corrente medida no ECM e no medidor de energia foi de apenas 0.01A. Em relação aos valores de corrente superiores a 12A, verificou-se que o ECM possui um erro bastante elevado, aumentando com o aumento da mesma.

| $I_{ef}(A)$ |       | Erros de Medição (%) |
|-------------|-------|----------------------|
| EcoWatt 550 | ECM   |                      |
| 0.34        | 0.35  | 2.94                 |
| 3.99        | 3.97  | 0.50                 |
| 6.29        | 6.34  | 0.79                 |
| 7.10        | 7.06  | 0.56                 |
| 7.35        | 7.40  | 0.68                 |
| 10.68       | 10.68 | 0                    |
| 12.69       | 12.17 | 4.09                 |
| 13.67       | 12.60 | 7.82                 |
| 15.75       | 13.57 | 13.84                |

Tabela 5.2: Erros de medição dos valores de corrente

Por fim, procedeu-se ao cálculo do erro de medição da potência ativa. O procedimento foi exatamente o mesmo dos anteriores, pois o EcoWatt 550 também disponibiliza valores de PA até um máximo de 3600W. Na tabela 5.3 estão representados os resultados obtidos. Verificou-se que para medições acima de 2500W o ECM possui erros de medição consideráveis, isto acontece pois os valores de potência ativa dependem dos erros associados aos valores de corrente e tensão. Outro ponto prejudicial, é o facto de se calcular do ângulo de fase através de *software*, sendo que a implementação de um circuito de deteção da passagem pelo zero para os sinais de corrente traria melhorias significativas.

| $P_{ativa}(W)$ |         | Erros de Medição (%) |
|----------------|---------|----------------------|
| EcoWatt 550    | ECM     |                      |
| 57             | 61.35   | 7.63                 |
| 959            | 953.07  | 0.63                 |
| 1650.70        | 1661.05 | 0.63                 |
| 2398           | 2407    | 0.37                 |
| 2988           | 2803    | 6.19                 |
| 3017           | 2829.90 | 6.20                 |

Tabela 5.3: Erros de medição dos valores de Potência Ativa

## 5.2 Testes de Funcionamento do ECM

Nesta secção são apresentados os testes de funcionamento e os seus resultados para que se possam analisar e verificar a fiabilidade do ECM. Os ensaios foram efetuados em duas fases, primeiro foi testado o modo de monitorização com um equipamento elétrico de cada vez e depois foi testada uma situação real que envolvesse vários dispositivos elétricos. Estes testes, foram realizados numa residência com uma potência contratada de 3.45kVA e com a tarifa Bi-Horária. A figura 5.2, representa a forma de como estes

parâmetros são indicados no ECM. Como o projeto desenvolvido até aqui, trata-se apenas de um protótipo, os ensaios experimentais foram realizados numa tomada elétrica e não no quadro elétrica, no entanto, a utilização de uma tomada proporciona um “circuito” elétrico independente do resto da habitação, pelo que não existiram interferências na linha de outros equipamentos em utilização durante este procedimento. A figura B.3 do apêndice B mostra a montagem do protótipo desenvolvido neste projecto.

Figura 5.2: Seleção da potência e tarifa contratadas

Antes de se testar o modo de monitorização foi necessário adicionar alguns aparelhos elétricos à base de dados do ECM. As figuras 5.3a, 5.3b e 5.3c apresentam o funcionamento do processo da adição de equipamentos.

Depois de adicionados os equipamentos utilizados (secador, candeeiro, micro-ondas, torradeira e um grelhador elétrico) procedeu-se à primeira fase destes testes de funcionamento. Para cada equipamento realizaram-se 5 testes, em que basicamente foi-se alternando o estado de funcionamento de cada um e visualizou-se se o ECM detetava essas mudanças. A figura 5.3 representa um dos testes realizados.

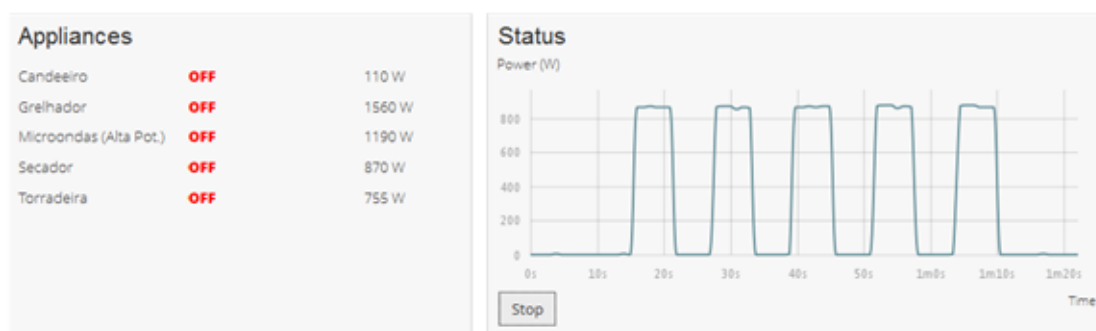
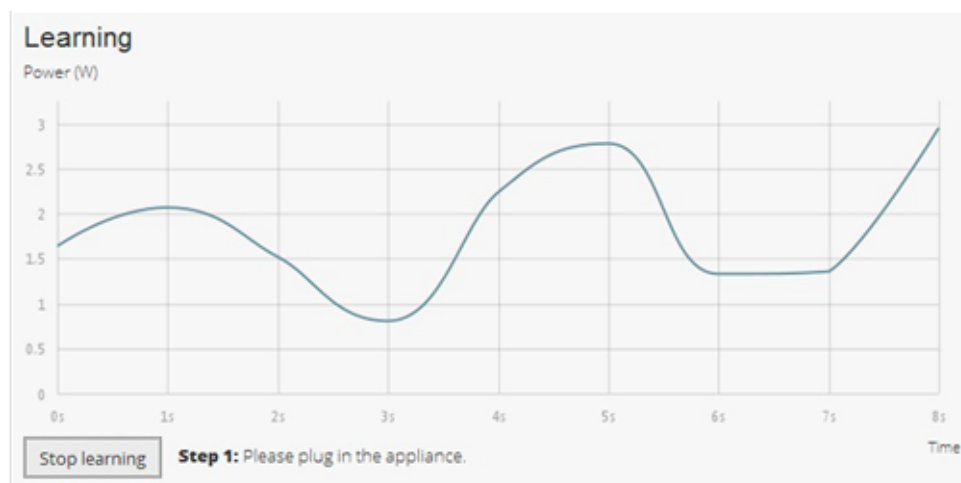


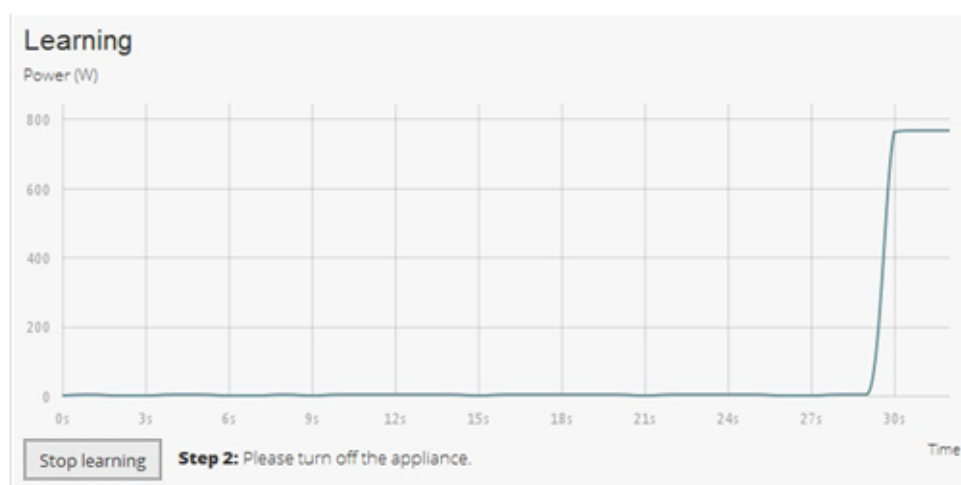
Figura 5.3: Teste de monitorização de um único equipamento

Na tabela 5.4, encontram-se os resultados obtidos relativos à deteção dos eventos. Rapidamente é possível verificar que houve um equipamento elétrico (micro-ondas) em que os resultados não foram os esperados. Isto deve-se ao facto de na maioria dos testes efetuados este aparelho demorar alguns segundos a atingir a sua potência máxima, o que influencia na deteção do seu estado. A partir dos testes realizados ao micro-ondas, compreendeu-se que este protótipo apenas possui a capacidade de detetar equipamentos

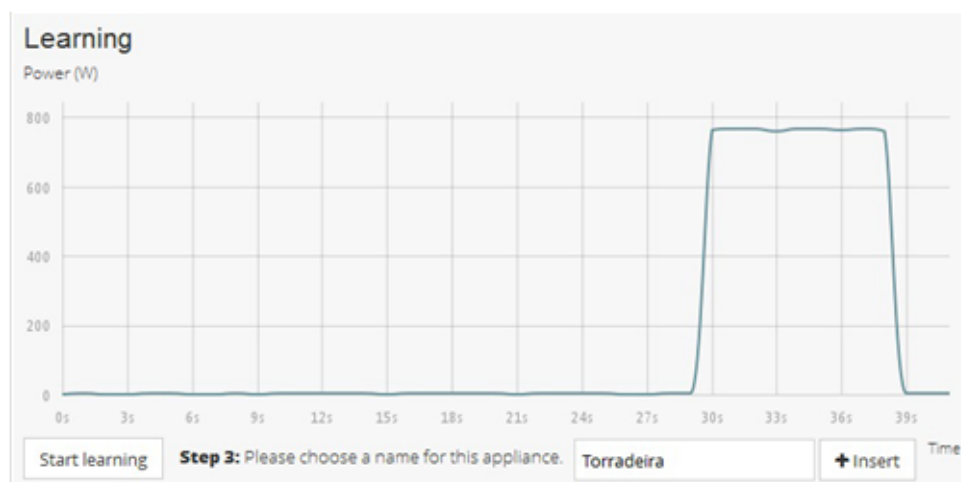




(a) Ligar equipamento elétrico



(b) Desligar equipamento elétrico



(c) Inserir nome do equipamento

Figura 5.4: Processo de adição de equipamentos ao ECM

elétricos do tipo ON/OFF que atinjam a sua potência máxima assim que ligados. Na figura 5.5 é possível visualizar a variação da potência ativa em função do tempo nos ensaios a este equipamento.

| Equipamento elétrico | Deteções Corretas | Deteções Incorretas |
|----------------------|-------------------|---------------------|
| <b>Secador</b>       | 5                 | 0                   |
| <b>Torradeira</b>    | 5                 | 0                   |
| <b>Micro-ondas</b>   | 1                 | 4                   |
| <b>Candeeiro</b>     | 5                 | 0                   |
| <b>Grelhador</b>     | 5                 | 0                   |

Tabela 5.4: Resultados dos testes de deteção individual

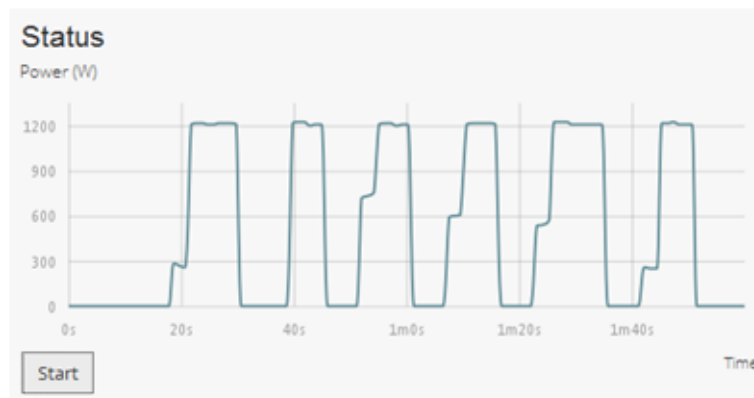


Figura 5.5: Teste de monitorização do micro-ondas

Em relação à segunda fase dos testes de funcionamento, foi testado o modo de monitorização. Para isso foram-se ligando e desligando os equipamentos utilizados de forma a verificar a fiabilidade do ECM numa situação real. Inicialmente começou-se por ligar o secador e o candeeiro resultando a deteção de ambos pelo ECM, como se pode ver na figura 5.6.

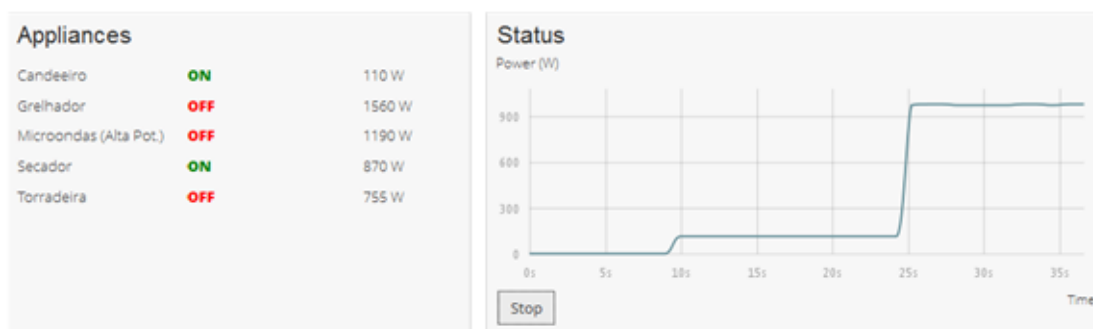


Figura 5.6: Teste de monitorização com dois equipamentos

De seguida foram testadas outras situações com outros equipamentos ligados em simultâneo, que resultaram numa deteção correta pelo ECM (figuras 5.7a, 5.7b e 5.7c).

Em relação aos testes efetuados com o micro-ondas, nenhum deles resultou numa identificação correta por parte do ECM, isto deve-se ao facto de já nos testes de deteção individual os resultados não serem os mais desejados, conforme o explicado em cima. Verificou-se ainda que numa das situações em que se ligou o micro-ondas resultou a deteção de um falso evento, neste caso a torradeira, como se pode ver na figura 5.7.

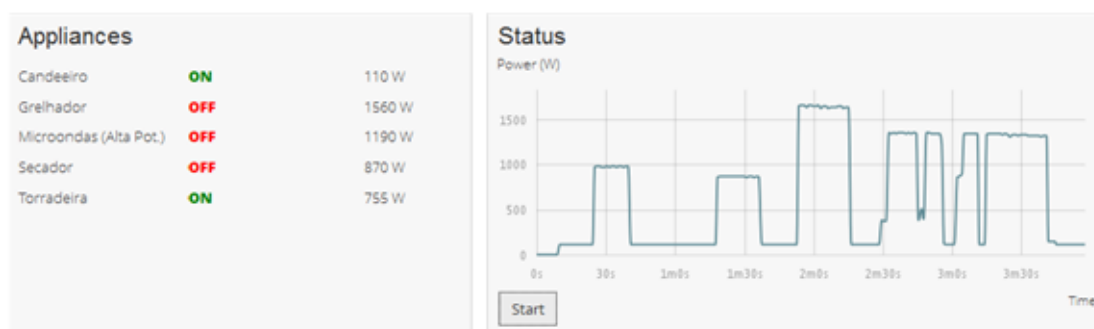


Figura 5.7: Teste de monitorização com uma deteção incorreta

Foram ainda realizados testes com potências mais elevadas, no entanto os resultados obtidos não foram os mais desejados. Para potências superiores a 2500W o ECM não consegue realizar a identificação de eventos corretamente devido aos erros de medição existentes nos valores de correntes mais elevados.

No que diz respeito aos consumos energéticos, os erros existentes dependem dos erros já registados nos valores de potência ativa, no entanto na opção de cálculo de estimativas dos consumos energéticos monetários os erros são bastante menores, pois o ECM faz o cálculo desses consumos baseando-se nos valores obtidos e armazenados aquando da adição desses mesmos dispositivos elétricos à base de dados. Na figura 5.9 está representado um exemplo do funcionamento desse processo.

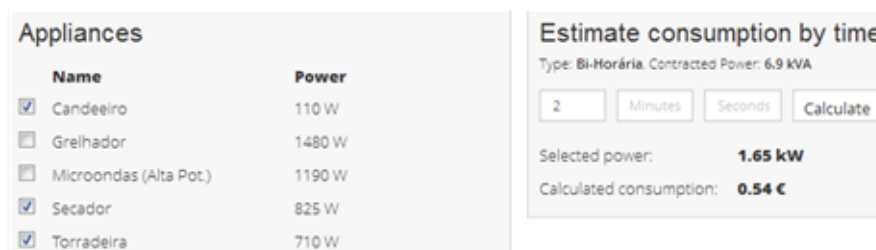
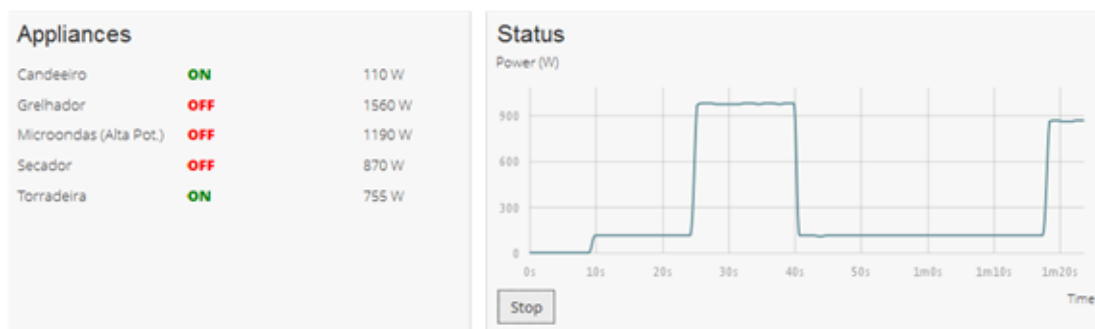
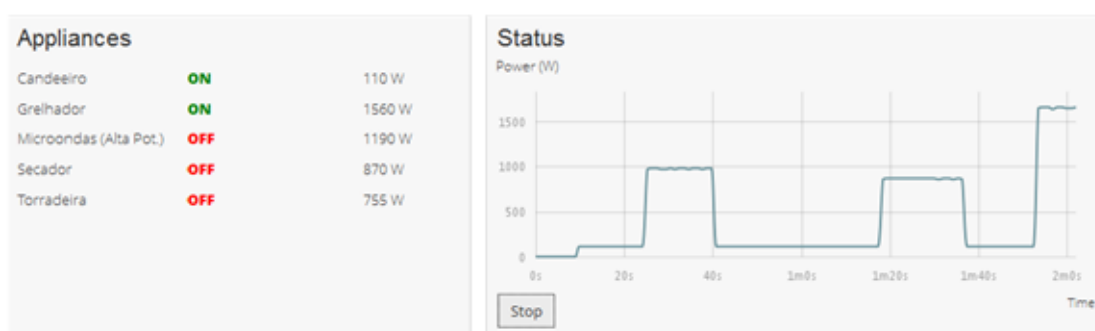


Figura 5.9: Cálculo de estimativas de consumos energéticos (€) selecionando os equipamentos desejados

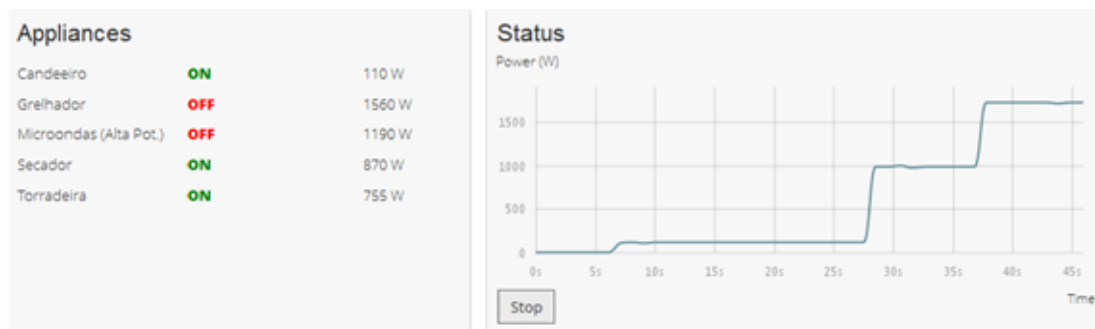
Em forma de resumo, verificou-se que o ECM apresenta valores bastante precisos para potências até aos 2500W, no entanto para valores superiores os erros de medição são



(a) Candeeiro e Torradeira



(b) Candeeiro e Grelhador



(c) Candeeiro, Secador e Torradeira

Figura 5.8: Detecção de Equipamentos elétricos

consideráveis, pelo que a fiabilidade deste protótipo é posta em causa. Sendo assim, conclui-se que o ECM é adequado para a monitorização de equipamentos elétricos até um máximo de 2500W. Em relação à deteção de eventos ocorridos, o ECM correspondeu com sucesso aos testes efetuados para valores de potência total abaixo dos 2500W, porém só foi possível identificar equipamentos do tipo ON/OFF com consumos energéticos constantes. Pois isto, considera-se que o ECM, apesar de se tratar de um protótipo, constitui uma boa solução na monitorização dos consumos energéticos e na deteção de eventos.



## Capítulo 6

# Conclusão

Terminado o trabalho de dissertação, pode-se concluir que o objetivo de realizar uma monitorização não intrusiva de cargas foi concluído com sucesso no que ao *hardware* e *software* diz respeito. Apesar de existirem algumas limitações, concluiu-se que o ECM obtinha resultados bastante precisos.

Outro ponto que foi concluído com sucesso, foi a deteção das mudanças de estados dos equipamentos elétricos. Verificou-se que com as informações guardadas em base de dados, foi possível identificar quais os dispositivos elétricos que se encontravam em funcionamento. No entanto, era objetivo conseguir captar a assinatura elétrica de cada equipamento no momento em que este fosse ligado, porém isto não foi possível devido ao baixo número de aquisições por período de onda (178) que o protótipo desenvolvido foi capaz. Assim sendo, pensa-se que a utilização de um microcontrolador mais evoluído, que permitisse um maior número de aquisições por período, seria imprescindível para uma concretização mais eficaz dos objetivos propostos.

A capacidade do ECM monitorizar consumos elétricos ao nível dos equipamentos que se encontram em funcionamento permite ao utilizador ter uma noção mais esclarecedora dos custos monetários associados. Por outro lado, o cálculo de estimativas de consumos, possibilita ao consumidor uma visão mais clara do consumo individual de cada dispositivo elétrico.

O desenvolvimento de uma *interface web* revelou-se extremamente útil tanto a nível dos objetivos deste projeto, como também numa perspetiva de expansibilidade a outros dispositivos e aplicações. A correta análise e tratamento dos dados ajudaram a uma apresentação cuidada e eficaz de toda a informação importante, o que torna o sistema acessível e de fácil leitura. Da mesma forma, uma das principais vantagens acenta na enorme compatibilidade do sistema com os diversos aparelhos do mercado, sendo que a acessibilidade e visualização intuitiva dos dados também se apresentam como fatores diferenciadores.

O estudo dos diversos sistemas de monitorização de cargas, apresentado no capítulo 2, serviu de base no desenvolvimento deste projeto. Comparando as especificidades dos sistemas comercializados com os resultados experimentais obtidos neste trabalho, não obstante os aperfeiçoamentos necessários, concluiu-se que o protótipo desenvolvido cum-

pre os requisitos necessários a uma monitorização dos consumos elétricos.

No decorrer deste projeto houve a necessidade de contornar diversos obstáculos. Destes contratempos, destaca-se a dificuldade na calibração dos sinais analógicos para valores de corrente e tensão.

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou alargar conhecimentos em diferentes campos, tanto a nível de *software* como de *hardware*. Também foram aprofundadas e adquiridas várias matérias das áreas de eletrónica, sistemas digitais, informática e elétrica, tornando esta dissertação bastante lucrativa em termos educacionais.



## Capítulo 7

# Trabalhos Futuros

A alteração da alimentação do sensor de corrente para valores entre os 8V e os 16V seria um bom trabalho futuro neste projeto, de forma a serem realizados novos testes experimentais para que sejam submetidos a uma comparação com os deste trabalho.

Outro aspeto que poderá ser melhorado é o cálculo do ângulo de fase entre as ondas da corrente e tensão. Com a implementação de um circuito para a deteção da passagem pelo zero nos sinais da onda de corrente, pensa-se que a precisão de valores seria mais correta.

A adição de outro sensor de corrente com o objetivo de aumentar a quantidade de dados adquiridos é também um ponto em consideração num futuro trabalho.

Por fim, o fornecimento de estatísticas diárias ao utilizador sobre os consumos energéticos ao longo do dia, é também um ponto a desenvolver no ECM.



# Bibliografia

- [1] INE - Instituto Nacional de Estatística e DGEG Direcção-Geral de Energia e Geologia (2011). Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico, 2010.
- [2] P3 International - Kill A Watt Edge P4490 [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.p3international.com/>.
- [3] Steplight - Power Meter [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.steplight.com.au/>.
- [4] PT - Meo Energy [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.meo.pt/meo-energy/>.
- [5] DIY Kyoto - Wattson [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.diykyoto.com/>.
- [6] ISA - Cloogy [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.cloogy.com/pt/>.
- [7] OWL - OWL Micro+ [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.theowl.com/>.
- [8] WIKIPEDIA - Efeito de Hall [*on-line*]. 2013. Disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito\\_Hall](http://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Hall).
- [9] LEM - Voltage Transducer LV25-P datasheet [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.lem.com>.
- [10] EDP - Energias De Portugal [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.edp.pt/>.
- [11] EDP - Eficiência Energética [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.eco.edp.pt/>.
- [12] Comissão das Comunidades Europeias. Plano de Acção para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial, Comunicado da Comissão, COM 545, 2006.
- [13] ADENE - Agência para a Energia. Guia da Eficiência Energética, 4<sup>a</sup> Edição, 2012.
- [14] G.W. Hart. Nonintrusive appliance load monitoring. *Proceedings of the IEEE*, 80(12):1870–1891, 1992.
- [15] M. Zeifman and K. Roth. Nonintrusive appliance load monitoring: Review and outlook. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 57(1):76–84, 2011.
- [16] Sidhant Gupta, Matthew S. Reynolds, and Shwetak N. Patel. Electrisense: Single-point sensing using emi for electrical event detection and classification in the home. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Ubiquitous Computing, Ubicomp '10*, pages 139–148, New York, NY, USA, 2010. ACM.

- [17] MICROCHIP - PICDEM 2 Plus Demo Board user's guide [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.microchip.com/picdem2plus/>.
- [18] MICROCHIP - PIC18F4685 datasheet [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.microchip.com/pic18f4685/>.
- [19] Honeywell - CurrentTransducer CSLA1CD datasheet [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.Honeywell.com>.
- [20] Analog Devices - Amplificador Operacional AD623 datasheet [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.analog.com>.
- [21] Fairchild - Optoacoplador 4n25 datasheet [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.fairchildsemi.com>.
- [22] MICROCHIP - MPLAB IDE [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.microchip.com/mplab8>.
- [23] jSSC - Java Simple Serial Connector [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://code.google.com/p/java-simple-serial-connector/>.
- [24] JAX-RS - Java API for RESTful Web Services [*on-line*]. 2013. Disponível em <https://jax-rs-spec.java.net/>.
- [25] Jersey - RESTful Web Services in Java [*on-line*]. 2013. Disponível em <https://jersey.java.net/>.
- [26] Sérgio Nunes e Gabriel David. Uma arquitetura web para serviços web. 2005.
- [27] Maven - Apache Maven Project [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://maven.apache.org/>.
- [28] MySQL - My Structured Query Language [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.mysql.com/>.
- [29] HTML5 - HyperText Markup Language, version 5 [*on-line*]. 2013. Disponível em [http://www.w3schools.com/html/html5\\_intro.asp](http://www.w3schools.com/html/html5_intro.asp).
- [30] CSS3 - Cascading Style Sheets, version 3 [*on-line*]. 2013. Disponível em [http://www.w3schools.com/css/css3\\_intro.asp](http://www.w3schools.com/css/css3_intro.asp).
- [31] Bootstrap - Front-End Framework [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://getbootstrap.com/>.
- [32] JS - JavaScript [*on-line*]. 2013. Disponível em <https://developer.mozilla.org/pt-PT/docs/JavaScript>.
- [33] jQuery - Cross-Browser JavaScript Library [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://jquery.com/>.
- [34] AJAX - Asynchronous JavaScript and XML [*on-line*]. 2013. Disponível em [http://www.w3schools.com/ajax/ajax\\_intro.asp](http://www.w3schools.com/ajax/ajax_intro.asp).

- 
- [35] ChartJS - JavaScript Charting Framework [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://chartjs.devexpress.com/>.
- [36] CHACON - ECOWATT 550 [*on-line*]. 2013. Disponível em <http://www.chacon.be/>.



Apêndice A

Circuitos





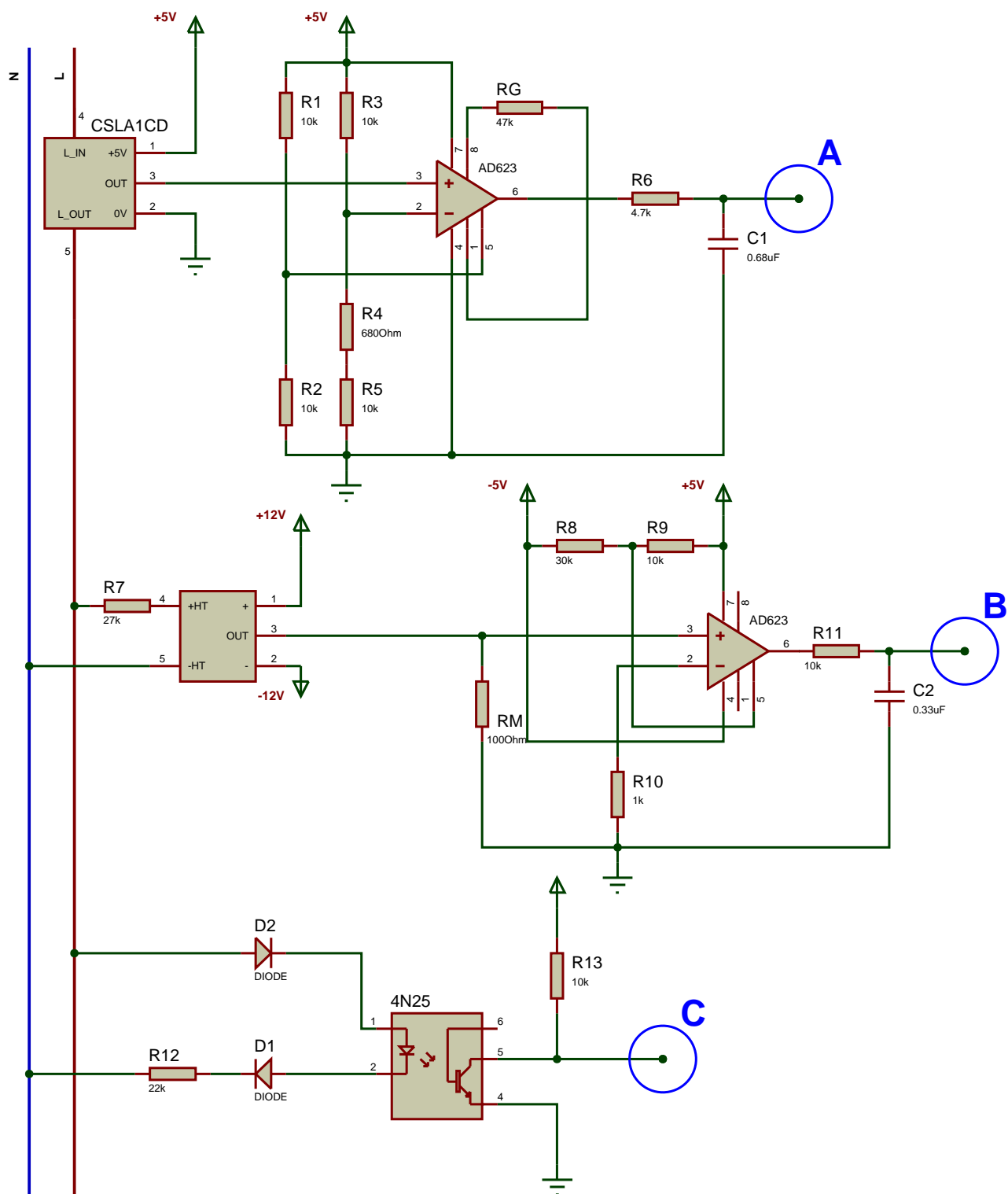


Figura A.1: Circuito representativo do protótipo em placa branca.



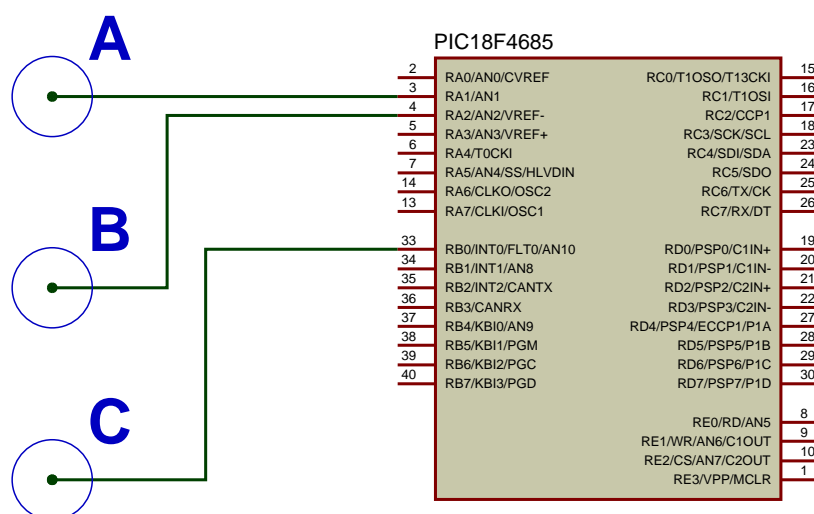


Figura A.2: Ligações ao microcontrolador.



## Apêndice B

### Fotografias





Figura B.1: Fotografia da implementação dos transdutores.





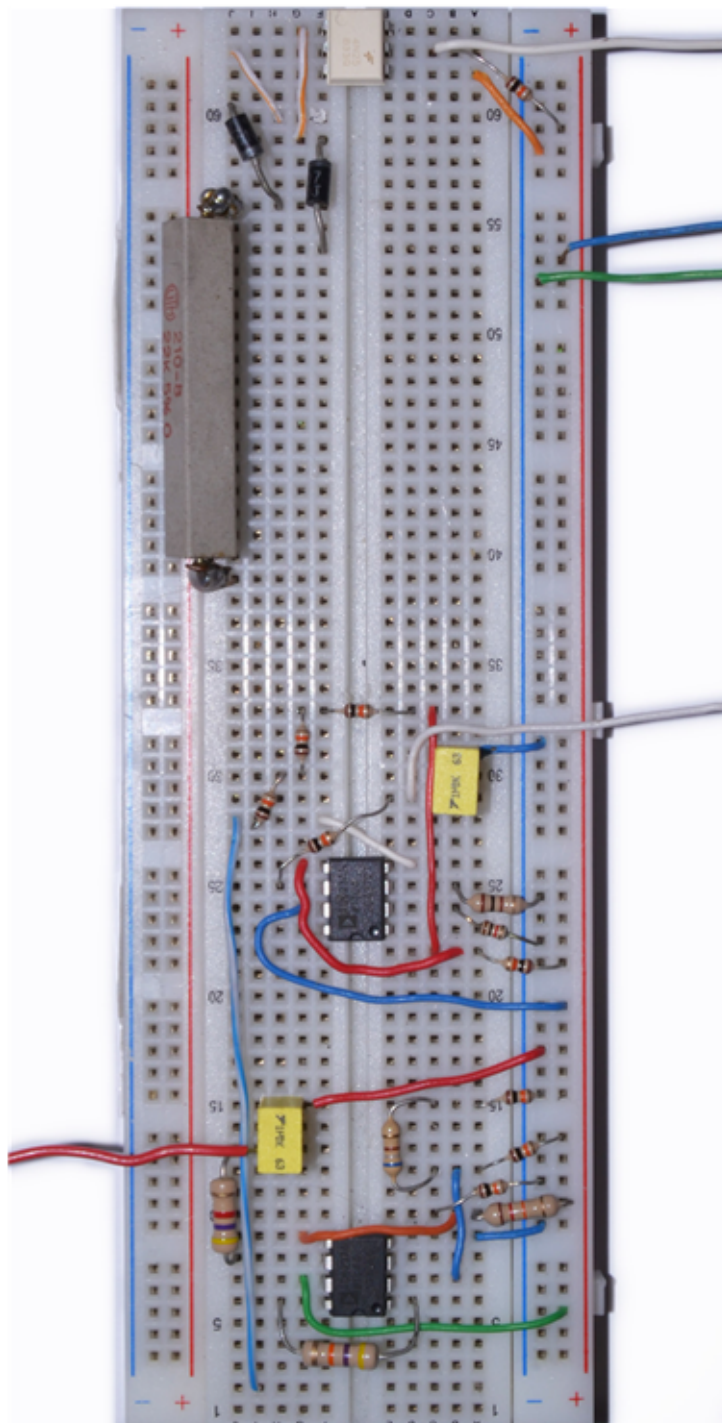


Figura B.2: Fotografia da implementação dos amplificadores operacionais e do optoacoplador.



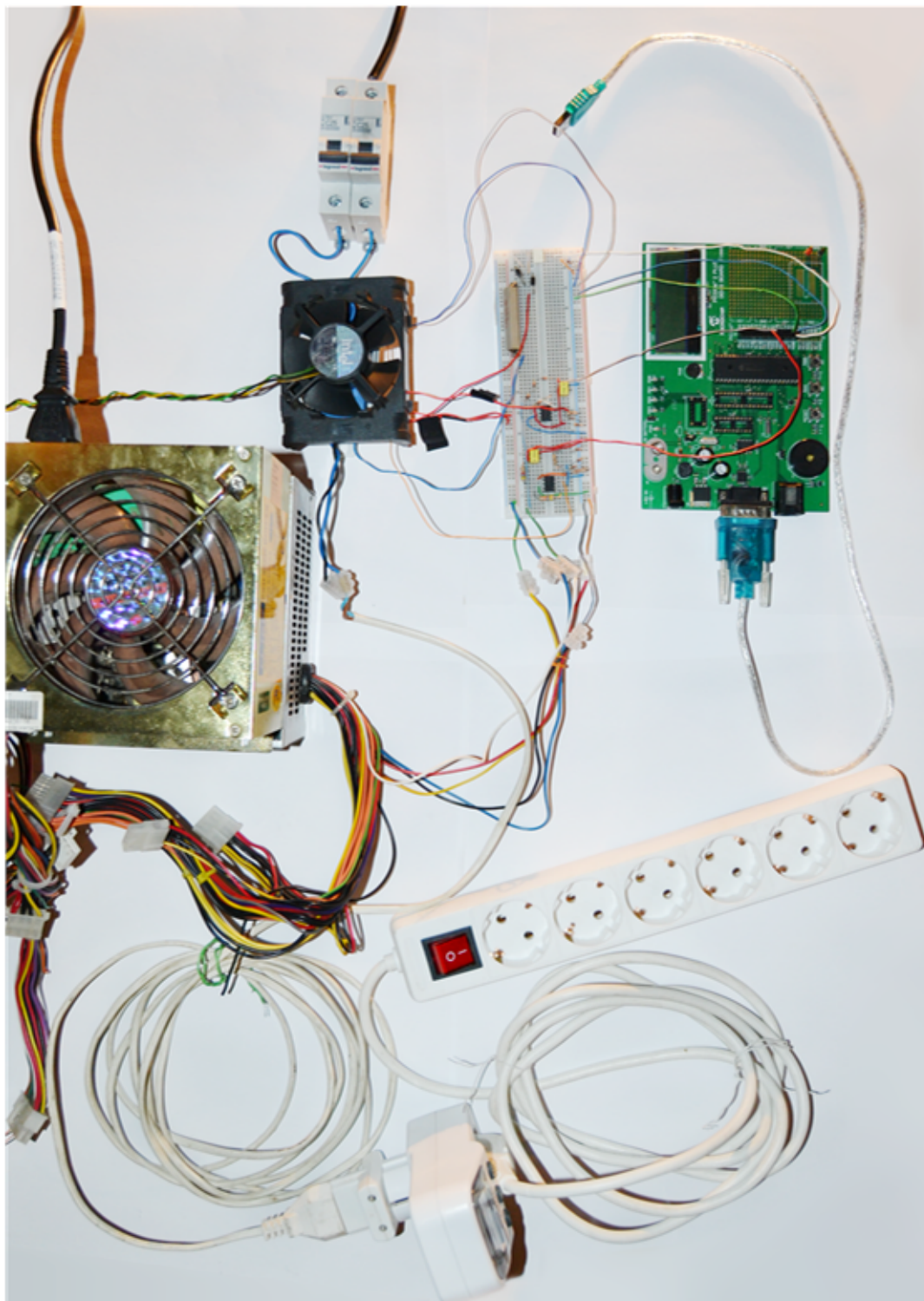


Figura B.3: Fotografia do protótipo desenvolvido.